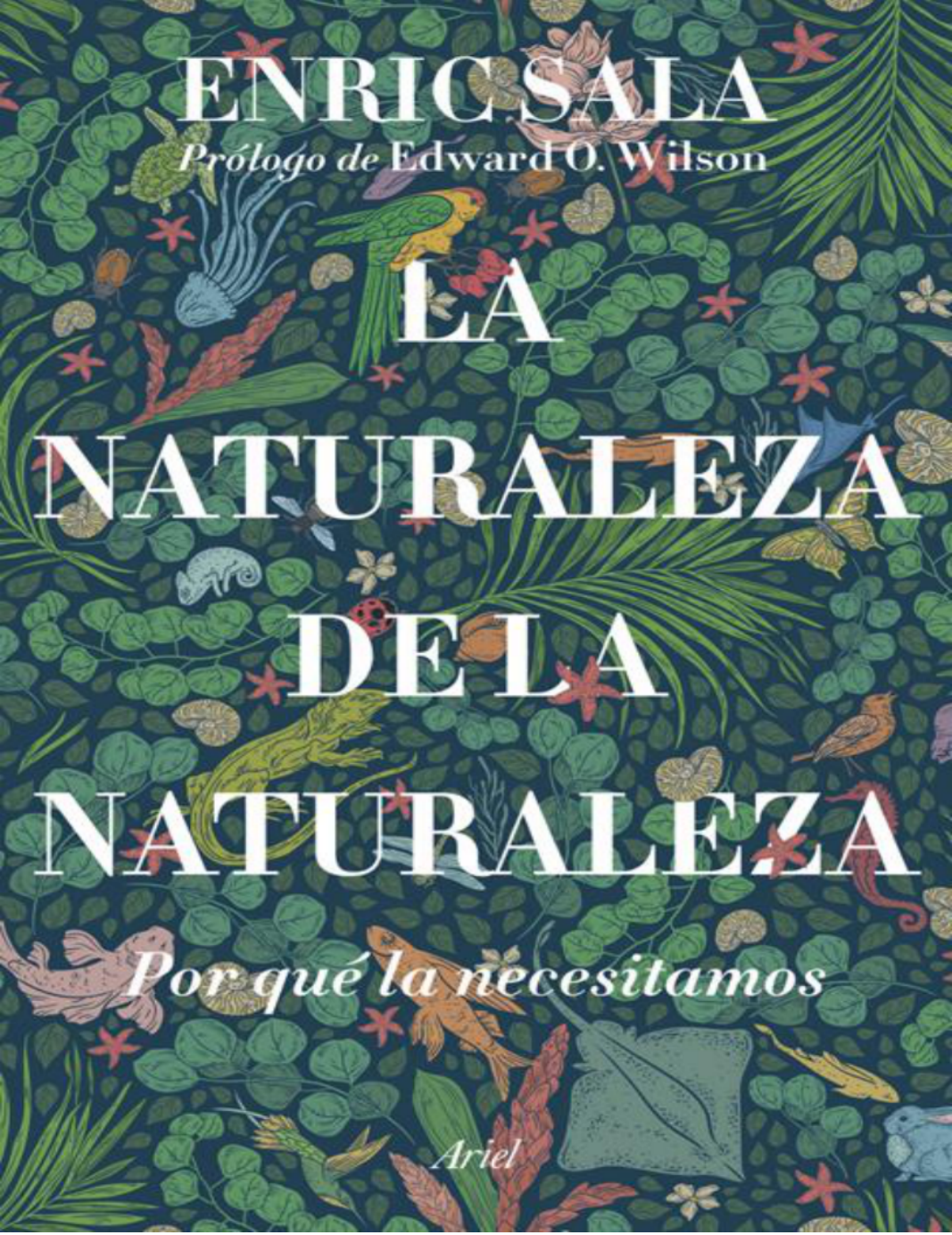

ENRIC SALA
Prólogo de Edward O. Wilson
LA NATURALEZA DE LA NATURALEZA
Por qué la necesitamos
Ariel

Índice

Portada
Sinopsis
Portadilla
Dedicatoria
Introducción
1. La recreación de la naturaleza
2. ¿Qué es un ecosistema?
3. El ecosistema más pequeño
4. Sucesión
5. Fronteras
6. ¿Son iguales todas las especies?
7. La biosfera
8. ¿En qué nos diferenciamos?
9. La diversidad es deseable
10. Zonas protegidas
11. Resilvestración
12. El imperativo moral
13. Naturaleza y economía
14. Por qué necesitamos lo salvaje
Epílogo. La naturaleza del coronavirus
Agradecimientos
Bibliografía
Créditos

Visita Planetadelibros.com y descubre una
nueva forma de disfrutar de la lectura

¡Regístrate y accede a contenidos exclusivos!

Primeros capítulos
Fragmentos de próximas publicaciones
Clubs de lectura con los autores
Concursos, sorteos y promociones
Participa en presentaciones de libros

PlanetadeLibros

Comparte tu opinión en la ficha del libro
y en nuestras redes sociales:

Sinopsis

Enric Sala, ecologista y biólogo marino de fama mundial, nos muestra en este libro inspirador las múltiples razones por las que preservar la biodiversidad de la Tierra es fundamental tanto desde la lógica como desde las emociones y la economía.

A partir de los momentos claves de su toma de conciencia científica, el autor nos enseña por qué nuestra supervivencia depende de todas las especies. De los microbios a los mamíferos, de las algas a los tiburones, todo lo que vive tiene una labor crucial en el tejido interdependiente de la biosfera, y esta obra explora cómo funciona exactamente ese engranaje, cuáles son las consecuencias de las actividades humanas que están destruyendo el mundo natural y qué soluciones prácticas debemos asumir.

Muchos sistemas de creencias tienen entre sus principios el respeto a la naturaleza. En este libro, tan racional como sentido, Enric Sala añade también argumentos económicos a ese imperativo moral y logra cambiar nuestra manera de ver el mundo… y el futuro.

La naturaleza de la naturaleza

Por qué la necesitamos

Enric Sala

Traducción de Cristina Macía

Ariel

Para todos los que dedican la vida a defender
la diversidad y abundancia de vida en la Tierra

Introducción

En su nuevo libro, *La naturaleza de la naturaleza*, tan necesario como cautivador, Enric Sala nos hace una visita guiada por el ecosistema marino de la Tierra; pero esta vez no se centra en su valor estético, sino que habla también de los productos vitales que vienen de la mayor parte del planeta. La salud del mar, en la misma medida que la salud de la tierra, es responsable de todo alimento que comemos, de cada bocanada de aire que respiramos. No tenemos poder para crear la tierra y el mar, pero sí para destruirlos.

Por fortuna, el ser humano es capaz de valorar plenamente la naturaleza, pese a que la ciencia apenas nos permite ahora empezar a comprenderla. ¿Qué es esta Madre Naturaleza para que le hayamos otorgado un estatus casi divino? He dedicado buena parte de mi vida como ecologista al estudio científico de la naturaleza y, pese a ello, sigo sin ser capaz de definirla con palabras, igual que les pasa a casi todas las personas a las que les pido que lo intenten. El concepto de naturaleza evoca sensaciones, no solo imágenes físicas. Voy a arriesgar una definición más poética que científica.

La naturaleza, también llamada a veces Madre Naturaleza, es la diosa metafórica de todo aquello que existe en el universo y está fuera del alcance del ser humano, desde la dulce transición de los ocasos hasta las rabietas de los relámpagos; desde el esplendor dramático de los ecosistemas hasta el vacío negro del espacio.

El enfoque de Sala de la biología marina, dejando aparte la belleza de sus fotografías, destaca por la clara visión de la ecología marina como visión científica comparable a la que se logra con los estudios de la ecología terrestre. Esta convergencia destaca sobre todo en el origen y la evolución de los ecosistemas en hábitats terrestres como los bosques y los pastizales, por un lado, y los arrecifes de coral y otros hábitats marinos, por otro. Los ecosistemas, con sus vastas interrelaciones semejantes a diseños de origami, se cuentan entre las construcciones naturales más complejas. Uno de los desafíos más

importantes para la ciencia de este siglo será comprender las pautas y las leyes de su origen común. En esta misión nos puede servir de ayuda *La naturaleza de la naturaleza*.

E. O. W.

1

La recreación de la naturaleza

El 26 de septiembre de 1991, ocho personas —cuatro hombres y cuatro mujeres— se encerraron en unas instalaciones aisladas del tamaño de dos campos de fútbol en Oracle, Arizona. El proyecto se llamaba Biosfera 2 y tenía como objetivo comprobar si somos capaces de crear una colonia humana autosostenible. La biosfera real, la que podríamos denominar Biosfera 1, es el entramado autosostenible de vida que forma la fina capa viviente del planeta y hace posible nuestra existencia. Si Biosfera 2 tenía éxito, sería el primer paso para la colonización de otros planetas.

La idea consistía en crear un modelo simplificado de nuestra biosfera, capaz de dar sustento a ocho seres humanos. Los creadores recrearon una selva tropical, un desierto de niebla, una zona seca de arbustos, una sabana, una marisma y un manglar, un arrecife de coral, así como una zona agrícola para que los participantes cultivaran alimentos. El diseño de estos hábitats, herméticamente aislados del mundo exterior, estaba basado en todo el conocimiento ecológico del que se disponía en el momento. Pero las cosas no tardaron en torcerse.

A los dieciséis meses, la concentración de oxígeno en Biosfera 2 había bajado del 21 por ciento que tenemos en la atmósfera, una proporción saludable, a un 14 por ciento, una cantidad tan baja que algunos «biosferios» mostraron síntomas del mal de altura. La tierra introducida en el entorno era muy rica en materia orgánica, elegida así para que produjera nutrientes y la vegetación pudiera crecer con el tiempo, pero resultó que los microbios de ese sustrato procesaban la materia orgánica, absorbían el oxígeno y emitían dióxido de carbono (CO_2). Al mismo tiempo, las plantas que crecían no tenían el tamaño suficiente para producir el oxígeno necesario que debía compensar o absorber el CO_2 adicional, que, en combinación con el cemento de la estructura, provocó una reacción y generó carbonato de calcio, con lo

que el oxígeno y el carbono dejaban de estar disponibles para los seres vivos de la instalación. Al final hubo que bombear oxígeno en el recinto para mantener vivo el ecosistema y a sus habitantes.

Entre los problemas más graves de la instalación cabe destacar el aumento de niveles de CO_2; fue profético, ya que este incremento se cuenta entre las amenazas más acuciantes para la civilización humana hoy en día en el planeta. Pero la atmósfera no fue lo único que falló en Biosfera 2, también hubo problemas con la flora y la fauna. Algunas especies se extinguieron antes de lo previsto, y pocos animales sobrevivieron al experimento. Los creadores ecológicos habían introducido abejas, polillas, mariposas y colibríes para la polinización. También incluyeron serpientes, escíncidos, lagartos, tortugas y murciélagos, además de otros vertebrados. Sin embargo, las abejas y los colibríes murieron enseguida, con lo que las plantas dejaron de reproducirse. Al mismo tiempo, se desarrollaron más de lo previsto otras especies, como hormigas locas o cucarachas, y las campánulas crecieron más que ninguna otra planta. Por lo tanto, los biosferios tenían que dedicar más de la mitad de su tiempo a las cosechas. Al final del experimento solo sobrevivieron 6 de los 25 pequeños vertebrados originales.

La primera misión de Biosfera 2 duró dos años. Hubo una segunda misión en 1994 que solo duró seis meses, sobre todo debido a conflictos humanos: unos biosferios querían abrir entradas de aire, y hubo una discusión enconada entre el principal patrocinador del proyecto y el equipo de control, que terminó con la llegada de agentes federales para sacar al equipo con una orden de alejamiento.

¿Qué aprendimos de Biosfera 2? Según algunos biosferios, el experimento fue un éxito porque les enseñó a ser autosuficientes y a resolver problemas imprevistos. En cierto modo, tienen razón. Quizá, con más tiempo, el entorno cerrado habría acabado siendo autosostenible; muy diferente de lo que habían previsto sus creadores, pero, al fin y al cabo, funcional. Lo principal es que Biosfera 2 no acabó destruida transcurridos los dos años de la primera misión.

Y lo más importante es que así es como avanza la ciencia. Hacemos un experimento, fracasamos, aprendemos, intentamos otra cosa con el conocimiento adquirido. Lo habitual es aprender más de los fracasos que de los éxitos. Biosfera 2 fue un experimento atrevido e innovador que nos enseñó una lección muy dura: lo difícil que es

mantener un ecosistema relativamente sencillo y una atmósfera sana. No consiguió reproducir la viabilidad de la Tierra para la vida humana. El experimento dejó a las claras todo lo que ignoramos sobre cómo funciona la vida en el planeta... y lo incapaces que somos de recrearla.

La conclusión básica fue que nuestro planeta es un milagro. Da igual que pensemos que lo creó un dios omnisciente o que surgió a partir de polvo cósmico en torno a una estrella incipiente gracias a fuerzas físicas, o que es una simulación generada por ordenador (sí, hay un grupo de físicos teóricos que defienden esta idea). Viajamos en una nave espacial a 107.800 kilómetros por hora en torno a una estrella que a su vez se desplaza a 69.200 kilómetros por hora en las afueras de la galaxia. Solo en nuestra galaxia hay 400.000 millones de planetas que orbitan en torno a, como mínimo, 100.000 millones de estrellas. Lo que hace diferente y única a la Tierra es la vida. La vida en la Tierra, con su asombrosa complejidad de interacciones, es el mayor milagro que ha visto la humanidad.

Pero si tuviéramos que hacer un catálogo con las criaturas que viven en la Tierra, el 99 por ciento de las páginas quedarían en blanco. Hasta la fecha, los científicos han descrito menos de dos millones de especies de organismos pluricelulares, las plantas y los animales que vemos. Contamos con bastantes conocimientos sobre las aves, y también sobre los mamíferos, los peces, el coral y la flora, aunque cada año añadimos a nuestro catálogo seis mil especies más. Pero, según los científicos, el número total de especies es de unos nueve millones, y eso sin contar los organismos unicelulares, los microbios como las bacterias y las arqueas, que se encuentran en todas partes, desde nuestros intestinos hasta las nubes del cielo y a tres kilómetros bajo tierra. Si los incluyéramos, el censo aumentaría en un billón de especies, y apenas conocemos a unas pocas.

Pero si algo sabemos con certeza absoluta es que todo lo que necesitamos para sobrevivir, cada alimento que nos llevamos a la boca, el oxígeno que respiramos, el agua limpia que bebemos, es fruto del trabajo de otras especies. Es mucho lo que nos dan, ¿y cómo se lo pagamos? Actuamos como si no existieran, desbaratamos su obra, las destruimos.

Estamos aniquilando especies a un ritmo mil veces más rápido que el marcado por la velocidad natural de extinción. Un informe de

2019 de las Naciones Unidas advirtió que la actividad humana llevaría a la extinción de un millón de especies de plantas y animales, una de cada nueve, en las próximas décadas. Y estamos llenando ese vacío (en realidad, estamos creando ese vacío) sustituyendo la diversidad de vida por nuestras fuentes de alimentación. Hoy en día, el 96 por ciento de la masa de mamíferos terrestres la componemos nosotros y nuestro ganado doméstico. El 4 por ciento restante es para todos los demás, desde elefantes y bisontes hasta osos panda. El hecho objetivo es que, desde 1970, hemos perdido el 60 por ciento de la fauna salvaje terrestre, y en el último siglo, el 90 por ciento de los peces grandes del océano (tiburones, atunes, bacalaos). El 70 por ciento de las aves de la Tierra son las domésticas, sobre todo pollos, y solo el 30 por ciento son salvajes.

Estamos reemplazando miles de especies de animales salvajes por unas pocas de animales domésticos, pero es que además estamos transformando la tierra a una escala solo comparable con las fuerzas de las placas tectónicas. En la actualidad, más de la mitad de la superficie terrestre habitable se dedica a cultivos o pastos, apenas queda nada de los bosques y praderas que antes enriquecían esas tierras, y casi el 80 por ciento de esa tierra cultivable la empleamos para aumentar y alimentar el ganado.

Si seguimos a este ritmo, pronto no quedarán sobre el planeta más animales grandes que nosotros, los que criamos para alimentarnos y nuestras mascotas, y las comunidades vegetales más extensas no serán los magníficos bosques tropicales y boreales, sino monocultivos como los campos industriales que ya conforman el Medio Oeste de Estados Unidos. ¿Es esto un futuro viable para la humanidad? ¿Podemos sobrevivir en un planeta sin espacios silvestres? Si los peores augurios se hacen realidad, ¿seremos capaces de construir colonias viables en otros planetas para acoger a una sociedad humana autosostenible?

El experimento Biosfera 2 tuvo lugar hace veinticinco años. Desde entonces, la ciencia y la tecnología han mejorado enormemente. De hecho, desde noviembre del año 2000 ya hay humanos que residen durante largas temporadas en una colonia espacial: la Estación Espacial Internacional (EEI). La EEI es un milagro de la ingeniería en órbita alrededor de la Tierra, a una altura media de 409 kilómetros sobre la superficie. Es la única colonia humana en el espacio, pero

sigue unida al planeta por la atracción gravitacional, como un bebé que no se atreve a alejarse mucho de su madre. Requiere un esfuerzo de cooperación internacional extremadamente compleja, con centros de control en Estados Unidos, Canadá, Francia, Alemania, Rusia y Japón, y todo ello para mantener allí a entre dos y ocho astronautas a la vez. Además del coste inicial de 100.000 millones de dólares, la NASA paga 3.000 millones de dólares al año como aportación al mantenimiento de la EEI. Eso solo para garantizar que las pocas personas que viven allí tengan, como mínimo, un suministro constante de oxígeno para respirar, agua para beber, comida para comer y un escudo que los proteja de la radiación cósmica y del vacío letal. En el espacio todo intenta matarte. Si algo hemos aprendido de Biosfera 2, o del trabajo diario necesario para mantener vivos a los seres humanos en la EEI, es la inmensa gratitud y admiración que deberíamos sentir por la biosfera que habitamos.

Aquí, en la Tierra, no tenemos que preocuparnos por la radiación cósmica (¿quién se preocupa por esas cosas?); tampoco nos preocupamos (ni pagamos) por el oxígeno que respiramos. Hasta hace muy poco, la mayoría no teníamos que pagar por el agua que bebíamos: caía del cielo o brotaba de manantiales eternos. Además, pagamos mucho menos de lo que vale la comida, porque nadie nos cobra el sol que hace crecer las plantas, las abejas que polinizan los frutales... o así era hasta muy recientemente, considerando los costes medioambientales de los procesos de producción industrial de alimentos.

Si tanto cuesta, si tan difícil es mantener estable un ecosistema diminuto para unas pocas personas, ¿cómo coexisten nueve millones de especies de plantas y animales, junto con un billón de especies y microbios, para que nosotros vivamos? ¿Cómo se las arregla Biosfera 1 para mantener la vida y el equilibrio? ¿Hasta qué punto depende de esas otras especies la supervivencia del ser humano?

A esas preguntas quiere responder este libro.

He invertido los treinta últimos años en analizar los ecosistemas naturales, sobre todo los del océano. Llevo planteándome estas

preguntas desde que empecé a estudiar Biología en la universidad en 1986, y he dedicado buena parte de mi vida a tratar de comprender el milagro asombroso de la vida en la Tierra.

Mis incursiones en la biología marina comenzaron antes de graduarme, estudiando las algas marinas que crecían en las orillas rocosas de la Costa Brava. En primer lugar, tenía que identificarlas, es decir, averiguar a qué especie pertenecía cada una, de la misma manera que un botánico tiene que distinguir entre un roble y un pino. En las costas de Cataluña se dan más de quinientas especies diferentes de algas, así que no era una tarea sencilla. Antes de la llegada de internet, la única vía de identificación eran las monografías que aparecían en publicaciones especializadas a las que solo se podía acceder en la biblioteca de la universidad o, muchas más veces, en la biblioteca privada de algunos profesores que también estudiaban las algas. Por suerte para mí, uno de ellos, Lluís Polo, fue mi profesor de botánica en segundo de Biología en la Universidad de Girona, mi ciudad natal.

Me pasé los meses de verano haciendo el turno de noche en el restaurante de mi tío, en la playa. Cuando se marchaban los últimos clientes (y eso, en el verano mediterráneo, es pasada la medianoche) tenía que cuadrar la caja y reponer las bebidas en las neveras. Mientras mis compañeros de trabajo volvían a casa o se divertían en las discotecas de la zona, yo llevaba cajas de refrescos, cervezas y agua con gas del almacén en la parte trasera del restaurante al bar, cerca de la entrada. Lo habitual era que cerrara a la una de la madrugada y me fuera a la cama, agotado. Pero la anticipación del día siguiente no me dejaba dormir bien. Sabía que tenía que levantarme temprano para ir al agua antes de que las hordas de turistas estivales colonizaran las calas cercanas.

Poco después de las ocho de la mañana hacía mi recorrido, que pasaba junto a restaurantes cerrados, tiendas de accesorios para la playa y perfumes que aún no habían abierto y quioscos adormilados que aún no habían cerrado. Llevaba una bolsa de malla con las gafas y el tubo de bucear, las aletas, un cuchillo romo de cocina, unas medias viejas y una toalla de playa. Bajaba por unos peldaños excavados en la roca y pasaba entre piedras anaranjadas y rosadas, coronadas por unos pinos verdes que se inclinaban hacia el Mediterráneo como si hicieran una reverencia al mar. En la base de las escaleras había algunas calas

de arena entre promontorios rocosos. Las olas gentiles del mar tranquilo de la mañana besaban la playa con un susurro quedo tan regular que, si me hubiera tumbado en la arena, me habría quedado dormido. Pero lo que hacía era meterme en las cristalinas aguas color turquesa con el cuchillo y las medias para buscar algas de tantos tipos diferentes como pudiera encontrar, siempre en busca de alguna que no hubiera visto antes. Era mi paraíso particular.

Dos veces a la semana, tomaba el autobús de las ocho de la mañana a Girona, a 36 kilómetros de la playa, para ir a visitar a Polo en su laboratorio. Él me había introducido en el maravilloso mundo de las algas. Primero aprendí a separarlas en tres grupos muy evidentes: marrones, rojas y verdes. Pero algunas algas que parecían marrones pertenecían en realidad al grupo de las rojas. Era desconcertante, y empecé a entender que, en el mundo natural, las cosas no eran tan evidentes como parecían a primera vista. La diversidad de las especies era asombrosa. Había algas marrones semejantes a árboles de Navidad de dos palmos de largo, algas verdes como lechugas diminutas de apenas un par de células de grosor, y algas rojas finas como cabellos que, bajo el microscopio, resultaban tener ramas que las dividían en una simetría perfecta, con franjas alternas de células rojas y transparentes. En cuestión de algas, el Mediterráneo tenía tanta diversidad como cualquier arrecife de coral, solo que a pequeña escala. Enric Ballesteros, Kike, un experto de la zona que acabaría por convertirse en mi mentor y en uno de mis amigos más queridos, tomó en cierta ocasión una muestra a 40 metros de profundidad e identificó 149 tipos diferentes de algas en una zona del tamaño de una bandeja de cafetería.

No tardé en darme cuenta de que las algas no aparecían en cualquier lugar. Cada tipo tenía sus zonas favoritas. Unas algas crecían encima de otras; a veces, alga sobre alga sobre alga. Y el alga de la base podía crecer sobre una roca, sobre un percebe o sobre un mejillón. Había un hecho recurrente: las diferentes especies (y las diferentes «comunidades» que habían formado) se encontraban a profundidades diferentes, en lugares donde las olas eran más o menos fuertes, donde recibían más o menos luz (por ejemplo, sobre una roca sumergida y no bajo uno de sus salientes). Polo y Ballesteros me enseñaron que estas comunidades de algas formaban cinturones bien definidos a profundidades predecibles. Algunas, como los arbolitos de

Navidad, solo se daban entre las rocas y el mar, en zonas abruptas expuestas a las olas, porque solo ahí podían escapar de los voraces bancos de salemas, unos peces similares a besugos, de cuerpo plateado con rayas doradas y que, por cierto, pueden provocar alucinaciones al comerlos. Otras algas crecían abundantes sobre rocas sumergidas. No les hacía falta la protección de los salientes rocosos ni de las olas porque eran capaces de producir una sustancia química de sabor desagradable para los peces.

Mientras clasificaba las algas en el laboratorio descubrí miles de criaturas diminutas que vivían entre las ramas: cangrejitos, anfípodos semejantes a gambas, cochinillas de mar, gusanos, caracoles, babosas marinas y otras muchas. Había especies que se alimentaban del alga y había también que se alimentaban unas de otras, y todas se escondían de los peces bajo el manto de las algas. Cuanto más aprendía, más mundos nuevos aparecían ante mis ojos. El hambre de saber era constante, y la biología marina se convirtió en mi vida y mi pasión.

Pasaron diez años. Tras terminar el doctorado, empecé a trabajar en el prestigioso Instituto Scripps de Oceanografía en La Jolla, California. Mi trabajo como profesor universitario consistía en educar a los futuros líderes en el campo de la ecología marina y la conservación, en llevar a cabo investigaciones y publicar en revistas científicas. Pero los lugares que estaba estudiando, los lugares que tanto amaba, iban cayendo víctimas de la implacable apisonadora humana. Los corales y las algas marinas estaban muriendo en todas partes. La velocidad de la pesca impedía la reproducción normal de los peces. Lo que en el pasado fueron jardines subacuáticos poblados por animales se estaban convirtiendo en distopías de arrecifes muertos invadidos por un exceso de algas marrones donde solo vivían turbias medusas.

Un día me di cuenta de que lo que estaba haciendo era escribir el obituario de la vida marina. De hecho, muchos colegas y yo estábamos reescribiendo una y otra vez ese obituario, cada vez con más precisión. Me sentí como un médico diciéndole al paciente que va a morir, con todo lujo de detalles, pero sin buscar una cura.

En aquel momento decidí dejar la enseñanza y la investigación

académica, y dedicarme a revertir la degradación del océano. Llevo doce años como explorador fijo de National Geographic. A través de nuestro proyecto Pristine Seas contribuyo a proteger algunos de los pocos lugares vírgenes que quedan en el océano. Nuestro equipo los ha visitado y hemos visto indicios de ecosistemas intactos, plenamente funcionales. He buceado, explorado e investigado en muchas partes del mundo, desde las regiones polares hasta los mares cálidos de los trópicos. He visto lugares degradados, lugares prístinos y toda la gama intermedia. He sido testigo de la recuperación milagrosa de zonas devastadas por la pesca una vez esta cesó. He visto medrar a la naturaleza en unos sitios y marchitarse en otros. He tenido el privilegio de presenciar cosas que pocos han visto, y comprendo, de una manera estrictamente racional y al nivel más espiritual, por qué necesitamos a todas estas especies que nos rodean.

Todo empezó cuando aprendí a distinguir las especies, a saber quiénes eran mis nuevos amigos. De ahí pasé a observar quién vivía con quién, cómo y dónde. Luego, quién se comía a quién. Y más recientemente, a identificar el impacto de la actividad humana en el mundo natural.

La naturaleza de la naturaleza explora el funcionamiento del mundo natural, apunta a las consecuencias de las actividades humanas que lo están destruyendo y sugiere soluciones prácticas, además de describir los beneficios sociales y económicos que tendrían. Los diez próximos capítulos de este libro son un curso acelerado de ecología. «Ecología para los que tienen prisa», podríamos decir: qué hacen las especies, cómo coexisten, cómo se engrana y funciona el mundo natural, comparado con nuestro entorno artificial... Incluye también propuestas para dirigir la sociedad y la economía de manera más eficiente. Lo que presento aquí es una mezcla de mis experiencias personales e historias de héroes de la ciencia, a algunos de los cuales he tenido el privilegio de conocer y trabajar con ellos. En el capítulo 12 presento los argumentos morales a favor de la conservación de la vida en la Tierra, porque los factores prácticos no pueden ser nuestra única manera de ver el mundo: ¿tienen derecho a existir otras criaturas? ¿Por qué? En el capítulo 13 explico por qué, según la lógica económica, es importante proteger el mundo natural en lugar de destruirlo.

El capítulo 14 resume las lecciones del libro y propone soluciones

prácticas para salvaguardar la biosfera y la sociedad humana al mismo tiempo. Pensé que era el último capítulo, pero cuando el libro ya estaba corregido y listo para la imprenta llegó la pandemia de la COVID-19. La editorial y yo decidimos retrasar la producción para darme tiempo a escribir una sección sobre el nuevo coronavirus, que ha resultado ser la advertencia más seria que ha recibido el mundo sobre los riesgos para la salud humana que supone nuestra relación viciada con la naturaleza.

Me he dirigido al cerebro y al corazón, y, de paso, también al bolsillo, con la esperanza de hacer que valoremos toda la vida que puebla la Tierra, que seamos más humildes y que comprendamos por qué necesitamos un mundo donde haya espacios salvajes.

2

¿Qué es un ecosistema?

Uno de mis lugares favoritos de la Tierra es Córcega, esa isla granítica en el Mediterráneo occidental. La primera vez que la visité para investigar para mi tesis de doctorado, en 1993, fue como me había dicho Charles-François Boudouresque, «un viaje al Mediterráneo de hace quinientos años».

Los veranos de mi infancia habían transcurrido en ciudades costeras de playas abarrotadas y muros de hormigón. Hasta mis calas favoritas, donde llevé a cabo mis primeras observaciones de la vida marina, estaban rodeadas de chalés, hoteles y edificios de apartamentos. Córcega era todo lo contrario. Faltaba poco para el amanecer cuando el ferri que había tomado en la Francia continental se acercó a la costa de Ajaccio, en el sudoeste de la isla. Yo estaba en cubierta, adormilado y asombrado a la vez. Córcega, alta y orgullosa, era un paraíso silvestre sin apenas rastro de sus habitantes humanos, a diferencia de las tierras a las que estaba acostumbrado, donde apenas algunos parches verdes asomaban entre el cemento y el asfalto. Cuando el sol asomó entre las montañas, una bocanada de aire cálido me trajo los aromas de la isla y los ojos se me llenaron de lágrimas. Aún los recuerdo: enebro, laurel, romero, mirto, salvia, menta, tomillo, lavanda... la esencia de la maquia pura de Córcega. Fue el principio de un romance que no tardaría en convertirse en parte esencial de mis empeños científicos.

Tengo el inmenso privilegio de haber estado en Córcega muchas veces con un grupo de colegas y amigos muy queridos para llevar a cabo proyectos de investigación científica en la reserva marina Scandola, en el noroeste de la isla. A lo largo de los años se nos ha sumado mucha gente, pero al principio éramos tan solo una cuadrilla de amigos, además de ser mis mentores y colegas: Kike Ballesteros, que me enseñó sobre las algas e historia natural; Mikel Zabala, un

naturalista excepcional y profesor de Ecología en la Universidad de Barcelona, que codirigió mi tesis de doctorado, y Joaquim Garrabou, que por aquel entonces también estaba haciendo su tesis sobre las dinámicas del cambio de las comunidades ecológicas según la profundidad. Nos unía la afición al buceo y la fascinación por la naturaleza, y nuestra incapacidad para estar de brazos cruzados. Llevábamos trajes de neopreno color verde para bucear, así que nos autodenominamos «green team», como réplica a la famosa selección estadounidense de baloncesto que ganó la medalla de oro en los Juegos Olímpicos de Barcelona en 1992.

Solíamos hacer el trabajo de campo en Córcega en octubre, cuando se marchaban los pocos turistas que recibía la isla y el encargado de la reserva podía concentrarse en nuestras operaciones. Octubre en Córcega es como tirar una moneda al aire: nunca se sabe qué tiempo va a hacer. Unos años nos tocaba sol y mar tranquilo; otros, el vendaval y el mar encrespado impedía que nos acercásemos a nuestros lugares de buceo. Pero nunca nos quedamos sin hacer nada: si el mar no nos quería, explorábamos los robledales centenarios para recoger setas silvestres, sobre todo champiñones de campo, rebozuelos u oronjas. O paseábamos por los pinares, a lo largo de playas desiertas, o hacíamos excursiones a las espectaculares montañas de granito que culminaban en el monte Cinto, a 2.710 metros sobre el nivel del mar.

Si juntáramos todas las inmersiones y excursiones en un corte transversal de las profundidades a las alturas, veríamos la clara distribución de las plantas y los animales en Córcega. A 60 metros de profundidad hay bosques de gorgonias blancas y rojas, de esponjas amarillas que parecen esos cactus llamados pitayos dulces. A los 50 metros ceden paso a un bosque de viejas algas marrones que parecen olivos en miniatura, con el tronco retorcido y el copete de ramas, que crecen sobre lo que parecen huesos de aceituna. Más cerca de la superficie, a unos 30 metros, aparece otro tipo de alga marrón; esta tiene el tronco pardo, grueso como un pulgar, con una copa semejante a la de una palmera. Más arriba cambian las especies de algas

dominantes, que forman bosques de diferentes alturas y edades. Los animales siguen una pauta similar: las gorgonias viven a mayor profundidad, y los erizos de mar, más cerca de la superficie. Hay peces que se mueven en una horquilla amplia de profundidad, como la salema, pero la mayoría se encuentran en zonas fácilmente predecibles.

Salimos del agua y subimos por las rocas volcánicas rojizas salpicadas de arbustos de color verde oscuro y esas hierbas aromáticas silvestres que me arrancaron las lágrimas cuando me llegó su olor por primera vez, y que aún me llenan de nostalgia cuando las recuerdo. O también podemos ir hacia la izquierda y caminar por la playa arenosa flanqueada de pinos piñoneros, alcornoques mediterráneos y encinas, y llegamos a un río sin presas ni embalses, hogar de tortugas de agua dulce, que discurre entre bosques ribereños. Al ascender nos encontramos pinos rodenos que crecen en bosques mixtos de robles pubescentes, robles albares, alisos napolitanos y castaños, con una asombrosa diversidad de setas silvestres como las que recogíamos cuando el clima no nos dejaba bucear. Más arriba, en la montaña, el lugar de estos árboles de hoja caducifolia, crecen pinos salagareños en las laderas que dan al sur, y abetos blancos y hayas en las que dan al norte. Ya por encima de la franja boscosa, a unos 2.000 metros de altura, crecen arbustos y árboles como el aliso verde, el enebro, el sicómoro, el arce o el abedul. Y si seguimos subiendo, la temperatura desciende demasiado para que crezcan plantas grandes, con lo que solo encontramos líquenes que se aferran, estoicos, al granito. La cumbre del monte Cinto es pura roca... con mucha nieve en invierno.

Si dibujáramos las fronteras entre los diferentes tipos de plantas y animales que hemos visto, obtendríamos una serie de franjas más o menos paralelas. Cada una de estas agrupaciones de plantas y animales es un sistema ecológico diferente: un ecosistema.

Un ecosistema no es más que la comunidad de organismos vivos (microbios, plantas y animales) y el entorno físico (el hábitat) que ocupan. Los organismos y sus interrelaciones son lo que los ecologistas llaman una red alimentaria o red trófica, un entramado de cadenas

alimentarias en las que un depredador se alimenta de un depredador que se alimenta de una presa, y donde las especies compiten por el espacio, la luz y otros recursos. Pero los seres vivos no se limitan a ocupar su hábitat, ya sea roca volcánica o granito, playas arenosas o llanuras interiores; también pueden crear su propio hábitat, como hacen, por ejemplo, los arrecifes de coral, que a su vez proporcionan espacio y alimento a muchas criaturas. La vida en la Tierra es un milagro, pero lo que hace la vida es a veces aún más asombroso.

Los ecosistemas crecen, se contraen y mueren; parte de ellos regresan a un estadio previo que permite que resurjan especies aletargadas. Los ecosistemas nunca son estáticos. Se autorregulan gracias a bucles de retroalimentación con la comunidad biológica, pero también entre organismos vivos y su hábitat. Generan lluvia y regulan el clima. Llenan la atmósfera con la mezcla de gases que nos permite respirar y sobrevivir. Filtran y limpian el agua que bebemos. Nos protegen de las inundaciones. Llevan más de un siglo salvándonos de un cambio climático catastrófico. Y muy pocos nos hemos dado cuenta.

Los ecosistemas han tenido miles de millones de años para hacer experimentos; y así, mediante prueba y error, se han organizado hasta convertirse en las máquinas más eficientes del universo. Están cambiando constantemente y, hasta hace poco, siempre han fluctuado entre límites razonables, han seguido rutas predecibles. No somos capaces de recrear buena parte de lo que hacen los ecosistemas por nosotros. Pero unos ecosistemas muertos han permitido que el ser humano controle la vida en el planeta... y también la destruya. Pero dejemos esas historias para más adelante.

Los bosques, los humedales y los ríos no son los únicos ecosistemas. Nuestras ciudades también lo son. Por ejemplo, el hábitat de Nueva York es un entorno básicamente artificial hecho de asfalto, cemento, cristal y acero, salpicado de zonas verdes. Si se habla de la flora y la fauna de Nueva York, lo primero que nos viene a la mente son las ratas, las ardillas de Central Park y algún que otro halcón peregrino que anida en el tejado de un edificio de oficinas y sale en las noticias. Pero Nueva York alberga también miles de especies de plantas y animales que coexisten con los casi nueve millones de habitantes de la ciudad. En su fauna hay coyotes, ardillas, murciélagos, mofetas, comadrejas, zorros, venados de cola blanca,

tortugas lagarto, tortugas de caja, salamandras y más de doscientas especies de aves. Por asombroso que parezca, en las aguas que rodean Nueva York y en el río Hudson viven 80 especies de peces. Incluso se han llegado a divisar ballenas jorobadas y rorcuales. La vida resiste incluso en la selva de asfalto más claustrofóbica.

Si de repente el ser humano abandonara Nueva York, este hábitat artificial se colapsaría. Bajo la superficie, Nueva York es como un queso emmental, con casi cuatrocientos kilómetros de túneles de metro y más de diez mil kilómetros de tuberías y alcantarillado. Sin las 290 salas de bombeo que funcionan de manera ininterrumpida y que extraen más de sesenta mil litros por minuto del río Hudson, del East y de la bahía Upper, los túneles del metro se inundarían. Eso haría más grandes aún los agujeros del queso y los edificios acabarían por derrumbarse. Pronto se acumularía polvo en los agujeros y grietas en la superficie, y las plantas colonizarían los escombros. La flora y la fauna silvestres se apoderarían de los restos.

La vida, junto con los ecosistemas que crea, tiene una capacidad extraordinaria de regenerarse y de autoorganizarse hasta en los lugares más insólitos. No hay nadie de mi generación que no recuerde la explosión del reactor nuclear de Chernóbil en 1986. Pese a los esfuerzos heroicos de los científicos, soldados y mineros soviéticos, que trataron de contener la radiación, fue tan intensa que hubo que evacuar Pripiat, la ciudad más próxima, de manera permanente. Hubo que matar a las mascotas para que no propagaran la radiación. Luego, la naturaleza se apoderó de todo. En la actualidad, los edificios se están derrumbando, conquistados por los árboles y los arbustos, y los lobos han ocupado la ciudad. Parece ser que el hábitat artificial no puede sobrevivir sin sus constructores. Dentro de unos miles de años, Pripiat será como las ciudades mayas de la selva cuando fueron redescubiertas bajo un espeso manto de vegetación.

Si nos eleváramos sobre los bosques de Córcega, veríamos la división entre la tierra y el mar. Si ascendiéramos más aún, saltaría a la vista que Córcega es un ecosistema isleño rodeado por el Mediterráneo. Desde más arriba aún, el Mediterráneo mismo se nos presentaría como

un ecosistema con fronteras bien definidas al norte (los Alpes y los Cárpatos) y al sur (el Sahara). Los astronautas de la EEI, que lo ven desde aún más arriba, identifican el planeta entero como un ecosistema sin más delimitaciones visibles que las que marcan la tierra y el mar, el desierto y la vegetación, las ciudades y las granjas. No es de extrañar. La palabra *ecosistema* viene del griego *oikos*, que significa «familia» y, además, «casa».

Se cierra el círculo.

Pero ¿cómo funciona y se mantiene este milagro vivo? ¿Cómo es posible que los nueve millones de especies de criaturas que vemos y el billón de tipos de microbios que no vemos interactúen de una manera que proporciona estabilidad al planeta entero? Para responder a estas preguntas tenemos que empezar por el principio. Vamos a juntar dos especies, a ver qué pasa.

3

El ecosistema más pequeño

En 1934, un biólogo soviético de tan solo veintitrés años publicó un libro titulado *The Struggle for Existence*. Este librito, del que la mayoría de los estudiantes de Biología actuales no han oído hablar, es uno de los estudios más importantes en la historia de esta ciencia, porque nos proporcionó la primera base experimental para comprender cómo compiten las especies entre ellas y cómo las especies pueden destruirse unas a otras (además de autodestruirse) en un mundo de recursos limitados.

Aquel joven biólogo se llamaba Georgi Frantsevich Gause y era hijo de Frants Gause, profesor de arquitectura, y Galina Gause, obrera industrial en una planta de acero automotriz. La familia Gause pasaba largas vacaciones de verano en las montañas del Cáucaso, donde el niño desarrolló su amor por la naturaleza. A los diecisiete años entró en la prestigiosa Universidad Estatal de Moscú. El sistema ruso dictaba que hubiera un asesor de la facultad por cada estudiante y, en uno de esos momentos de serendipia que marcan una vida y cambian la historia, el que se le asignó a Gause fue el profesor Vladímir Alpatov.

Alpatov había estudiado investigaciones estadounidenses sobre el crecimiento de la población que planteaban una hipótesis: el crecimiento de cualquier población, incluida la humana, tiende a ralentizarse a medida que se incrementa su densidad. Eso apuntaba a que la población humana no seguiría creciendo hasta el punto de agotar los recursos del planeta y morir, sino que crecería muy despacio al principio, luego muy deprisa, luego se nivelaría y, al final, el número acabaría por estabilizarse. Los biólogos han observado en muchas especies, incluida la nuestra, esta pauta de ralentización del crecimiento, seguido por un incremento explosivo y una estabilización. Esto se denomina crecimiento logístico y es la teoría en la que se basa la predicción de que la población humana, en 2050, se

habrá estabilizado en torno a los nueve o diez mil millones de personas.

En ciencia, cuando se propone una teoría, el siguiente paso es ponerla a prueba mediante la observación directa o, si es posible, con experimentos. Gause pensó que la observación directa no permitiría poner a prueba de manera correcta el crecimiento logístico porque ninguna especie existe en el vacío: todas interactúan en una compleja red de relaciones. Por explicarlo de una manera sencilla, en la naturaleza hay demasiados factores de desviación que impiden aislar aquellos necesarios para poner a prueba la hipótesis. Pero se le ocurrió llevar a cabo experimentos de laboratorio construyendo entornos simplificados en los que tuviera el control sobre todos los factores. Así fue como comenzó uno de los estudios más importantes en la historia de la biología.

Gause estaba muy influido por Charles Darwin, que había publicado hacía tan solo unas décadas *El origen de las especies*. Darwin partió de la base de que todas las especies compiten en la batalla por la existencia de maneras que no entendemos porque desconocemos muchas cosas acerca de «las relaciones mutuas de todos los seres orgánicos». Darwin pensaba que «todo ser orgánico está esforzándose por aumentar en razón geométrica, que todo ser orgánico, en algún período de su vida, durante alguna estación del año, durante todas las generaciones o con intervalos, tiene que luchar por la vida y sufrir gran destrucción».

El aumento «en razón geométrica», también llamado crecimiento exponencial, del que habla Darwin es un crecimiento explosivo. Un excelente ejemplo de crecimiento geométrico es la historia del artesano que regala un tablero de ajedrez al rey indio. El rey, maravillado ante el tablero y el juego, ofreció al artesano la recompensa que le pidiera. Este solicitó que pusiera un grano de arroz en el primer escaque del tablero, dos en el segundo, cuatro en el tercero, ocho en el cuarto y así sucesivamente: el doble de granos en cada escaque siguiente hasta llenar los sesenta y cuatro. Esa recompensa pidió, y el rey se la concedió. Pero había un pequeño

problema: al multiplicar por dos sesenta y cuatro veces la cantidad de granos y luego sumarlos todos, el resultado son 210.000 millones de toneladas métricas, o dicho de otro modo, lo suficiente para cubrir la India entera con un metro de arroz.

Dicho de otra manera: si el número de individuos de cada especie se incrementa de manera geométrica (cosa factible; basta con que cada individuo tenga dos hijos), el planeta estaría abarrotado. Pero no es lo que vemos. De hecho, percibimos que no todas las especies son igual de abundantes. En las llanuras de África hay más hierbas que acacias, más ñus que elefantes. Por tanto, Darwin llegó a la conclusión de que las especies tienden a reproducirse tanto como pueden, pero algo controla su abundancia, la representación de cada especie dentro del ecosistema: una especie de «lucha por la existencia» que limita el crecimiento. Parte de esta lucha se debe al alimento disponible, claro. Darwin pensó que otra parte tenía que ver con la relación de cada especie con las otras especies del ecosistema.

Antes de los tiempos de Darwin, nadie entendía cómo interactuaban las especies entre ellas para formar ecosistemas. Los biólogos sabían que las plantas compiten por la luz y los nutrientes de la tierra, y que los depredadores reducen la abundancia de sus presas, pero no comprendían cómo se estabilizaba la abundancia de una especie en este entramado tan complejo de relaciones. Gause quería demostrar que las relaciones complejas entre organismos vienen determinadas por procesos sencillos que responden a un modelo matemático. «Un proceso tan elemental como cuando una especie devora a otra, o cuando un reducido número de especies compiten por un lugar común en un microcosmos limitado», escribió.

Unos años antes, el biólogo italiano Umberto D'Ancona llevó a cabo un estudio estadístico relativo a la cantidad de pescado que se vendía en los mercados del norte del Adriático. Observó que, durante la Primera Guerra Mundial, el número relativo de peces depredadores (tiburones, peces ángel, rayas...) se había incrementado en relación con el de los peces más pequeños de los que se alimentaban, pero poco después volvió a descender. Propuso que la disminución drástica de la pesca durante la guerra había devuelto el «equilibrio natural» al ecosistema marino, mientras que la pesca intensiva de los años siguientes lo había roto. D'Ancona, sin conocer la explicación ecológica, pidió a su tío, Vito Volterra, famoso matemático entonces

ya retirado, si podía crear un modelo matemático que explicara lo que había observado.

Volterra desarrolló enseguida los primeros modelos de interacción entre especies. Estos modelos fueron fundamentales para comprender las relaciones entre especies que compiten por un recurso, así como las relaciones entre los depredadores y sus presas. El modelo que se aplicó al Adriático de principios del siglo XX sugería que la disminución de la pesca había permitido que los peces grandes, los depredadores, se recuperaran de los estragos de la explotación humana. Un número más elevado de depredadores consumían más presas, peces pequeños, de ahí el incremento observado en el número relativo de depredadores. Tras la guerra, la pesca se reinició, con lo que bajó el número de depredadores y subió el de presas.

Gause conocía el trabajo de D'Ancona y Volterra, y decidió poner a prueba los modelos del matemático italiano con experimentos. A principios del siglo XX, los laboratorios eran arcaicos comparados con los que disfrutan los estudiantes universitarios de hoy en día, pero la creatividad de Gause compensó la falta de recursos. Unos tubos de ensayo llenos de alimento (un medio nutritivo) tapados con algodón le sirvieron para recrear el microcosmos que había imaginado. Dentro de cada tubo había un ecosistema cerrado, aislado de los factores de desviación que se encuentran en la naturaleza.

El primer experimento de Gause tenía como objetivo probar si una especie concreta podía crecer según las leyes de la lógica. Como especie eligió el *Paramecium caudatum*, un organismo unicelular con forma de cigarro puro corto antes de cortarle las puntas. Tiene el cuerpo transparente cubierto de filamentos finos como vello que le sirven para moverse y para alimentarse de organismos más pequeños, como bacterias y levaduras. El *Paramecium* mide apenas 200 o 300 micrones (una veinteava parte del tamaño de un grano de arroz de tamaño medio) y se reproduce muy deprisa, de manera asexual, dividiéndose en dos células hijas. Esto convierte al *Paramecium* en el organismo ideal para experimentos que requieran una sucesión de generaciones.

Gause introdujo cinco *Paramecium* individuales en los tubos de ensayo, cada uno con 0,5 centímetros cúbicos del medio nutritivo, el equivalente a 10 gotas de agua. Durante seis días contó el número de individuos de cada tubo y observó que este se incrementaba muy deprisa al principio pero luego se ralentizaba. El cuarto día tenía una abundancia media de 375 individuos en cada tubo, tras alcanzar lo que Gause denominó «población saturada». El crecimiento del *Paramecium* en el microcosmos encajaba como un guante en la curva logística.

El siguiente paso consistía en complicar un poco el miniecosistema: había que añadir una segunda especie. Gause pensaba que las diferentes especies no utilizaban el medioambiente de la misma manera, por muy emparentadas que se encontraran en el árbol de la vida. Por ejemplo, debían consumir diferentes cantidades de comida y excretar distintas cantidades de productos metabólicos. Se trataba de averiguar si dos especies que convivieran llegarían a tener una población saturada igual a la alcanzada en aislamiento, o si una especie saldría victoriosa; dicho de otro modo, si conseguiría una abundancia superior.

Para evaluar la competición entre especies, Gause eligió dos levaduras que consumían el mismo alimento: *Saccharomyces cerevisiae*, la levadura con la que se hace la cerveza, y *Saccharomyces kefir*, la levadura que se utiliza para el kéfir. Las dos especies pueden vivir con o sin oxígeno. Cuando una levadura crece sin oxígeno, se da el proceso de fermentación, porque su producto de desecho es el etanol. Si se añade oxígeno al entorno, sigue habiendo un cierto nivel de fermentación, pero las levaduras se dividen más deprisa. Las dos especies producen una fermentación alcohólica, pero la levadura del kéfir, sin oxígeno, crece muy despacio.

Para empezar, Gause trató las dos especies de manera aislada para determinar su población saturada. Luego las juntó en el mismo tubo de ensayo, con un medio nutritivo que contenía un 5 por ciento de azúcar. Para este experimento desarrolló 111 microcosmos diferentes, y luego sacó tres medias: la de la levadura de la cerveza aislada, la de la levadura del kéfir aislada y la de las dos especies juntas.

Como era de esperar, las dos especies de levaduras que crecieron aisladas siguieron la curva logística con un crecimiento rápido al

principio, luego más lento y, finalmente, la saturación. La ralentización del crecimiento se dio antes de que se agotara el azúcar del medio, debido a la acumulación del producto de desecho, el etanol, que mataba a las nuevas levaduras. La levadura de kéfir creció mucho más despacio y su población saturada fue de menos de la mitad que la de la levadura de cerveza. Pero la cantidad de levaduras en el microcosmos que contenía ambas especies no llegó ni a la mitad de la cantidad de la levadura de la cerveza aislada. ¿Qué había sucedido?

Las levaduras de ambas especies, al crecer juntas, alcanzaron un número inferior al de la población saturada que cada una habría tenido por separado. Más aún: produjeron una cantidad de etanol superior. Gause llegó a la conclusión de que la cantidad de etanol llegaba a niveles tóxicos antes en el entorno mixto que en el de cada especie por separado.

Repitió el experimento, pero añadió a la mezcla oxígeno para airear el microcosmos de la misma manera que haríamos con un acuario en casa. Los resultados a grandes rasgos fueron los mismos: la población saturada era inferior en cada especie cuando crecían juntas, aunque, con el oxígeno, la levadura de kéfir creció mucho más deprisa y su población saturada se duplicó. El «coeficiente de lucha por la existencia», como lo denominó Gause, era predecible en condiciones medioambientales definidas, con independencia de la velocidad a la que se multiplicaran las especies. Eso quería decir que «si conocemos las propiedades de dos especies que crecen de manera independiente [...] podemos calcular en teoría el crecimiento de estas especies y el volumen máximo que alcanzarán en una población mixta». En el caso concreto de la levadura, el resultado de la competición entre dos especies estaba determinado por la acumulación de sus productos de desecho.

Pero ese hallazgo no era suficiente para el joven genio soviético.

Prosiguió y avanzó en su análisis de la interacción de las especies repitiendo los experimentos con otra pareja: su antiguo sujeto de experimentos, el *Paramecium caudatum*, y una especie similar, el *Paramecium aurelia.* Sin embargo, en esta ocasión incorporó un nuevo factor: para imitar las condiciones naturales, en las que las especies recibirían energía solar a diario, añadió de manera cotidiana agua y alimento al microcosmos, no como en los experimentos anteriores, en los que el alimento estaba limitado y, una vez consumido, no había

más. Lo que quería averiguar Gause era si, dadas aquellas condiciones, una especie acabaría con la otra, o, por el contrario, se establecería entre ambas una especie de equilibrio.

Las dos especies crecieron bien por separado y alcanzaron la población saturada en unos diez días, pero cuando compartieron microcosmos, es decir, cuando tuvieron que competir por el alimento, *P. aurelia* hizo que *P. caudatum* se extinguiera en dos semanas. Lo sorprendente era que *P. caudatum* al principio creció más deprisa que *P. aurelia*, pero este era más resistente a los productos de desecho, lo que a la larga le dio una superioridad competitiva.

Este descubrimiento fue un hito científico y recibió más adelante el nombre de «principio de exclusión competitiva», según el cual dos especies que compiten por el mismo recurso no pueden coexistir con abundancias contantes. Cuando una especie tiene ventaja, por pequeña que sea, sobre otra, a la larga acabará por dominarla. Las comparaciones con nuestra interacción con el resto de las especies de la Tierra son escalofriantes.

El siguiente paso en los experimentos de Gause fue introducir otro nivel en el ciclo de alimentación: un depredador. Con una presciencia impremeditada, tituló ese capítulo «La destrucción de una especie causada por otra». El nuevo ecosistema ampliado se componía de tres niveles: bacteria → *Paramecium caudatum* → *Didinium nasutum.* El *Didinium* es un organismo unicelular en forma de barril que se alimenta sobre todo de *Paramecium*, aunque es la mitad de largo que este.

Las ecuaciones matemáticas de Volterra (desarrolladas de manera independiente por su contemporáneo Alfred Lotka, científico estadounidense) sugerían que, en la naturaleza, un depredador nunca llegará a extinguir a su presa. Los biólogos pensaban que cuando la abundancia de la presa desciende debido a la depredación, la abundancia del depredador se reducirá a su vez debido a la falta de alimento. El descenso en el número de depredadores provocará el incremento de presas, y así sucesivamente. La teoría Lotka-Volterra predecía oscilaciones periódicas en la abundancia de depredadores y

presas, y los datos recogidos gracias a la observación corroboraban esta teoría.

Una vez más, a Gause le aguardaba otra sorpresa. Introdujo cinco individuos de *Paramecium* en el microcosmos y, dos días más tarde, añadió tres *Didinium* depredadores. Esto fue lo que él mismo anotó: «Una vez introducidos los depredadores con los paramecios, el número de estos últimos se empieza a reducir y los depredadores se multiplican enormemente, devoran a todos los paramecios y consiguientemente mueren». En otras palabras: los depredadores consumen las presas disponibles y luego se extinguen por falta de alimento. Gause repitió el experimento varias veces, en recipientes de tamaños muy variados y añadiendo los depredadores en momentos diferentes, pero el resultado siempre fue el mismo: al final, los depredadores no se podían contener y las dos especies se extinguían.

Sin embargo, esto no es lo que observamos en el mundo natural, donde depredadores y presas coexisten en entornos muy variados. Hay un ejemplo maravilloso que procede de la observación directa de un experimento no planeado: se conservan los registros del comercio de pieles de la Hudson Bay Company, en Canadá, desde mediados del siglo XIX hasta tiempos de Gause, que muestran una oscilación entre el número de linces (depredadores) y liebres (presas) que capturaban los tramperos. La cantidad de animales que se cazaba en aquellos tiempos era pequeña en relación con el tamaño de la población salvaje, así que es dudoso que esta actividad fuera un factor decisivo a la hora de explicar los cambios en el número de linces y liebres. Se suponía que las numerosas capturas de linces y liebres se debían a su abundancia en libertad. Había ciclos en los que se incrementaba el número de linces y se reducía el de liebres, seguidos por otros en los que se incrementaba el de liebres y se reducía el de linces, y así sucesivamente. Pero los linces no llegaron a provocar la extinción de las liebres. Lo mismo sucede con los leones en las llanuras africanas, con los lobos en los bosques templados o con los tiburones en los arrecifes de coral: nunca cazan hasta el punto de extinguir a sus presas. Entonces ¿qué cambiaba en los microcosmos experimentales del biólogo soviético?

El siguiente paso para Gause fue reproducir algunas condiciones naturales. Para ello, incorporó variedad a su pequeño microcosmos. Los tubos de ensayo eran ecosistemas homogéneos que no existían en

el mundo real. Por tanto, añadió a los tubos sedimentos donde los *Paramecium* pudieran esconderse. Como era de esperar, los *Didinium* devoraron todos los *Paramecium* que no contaban con sedimento, mientras que otros *Paramecium* se refugiaron en el sedimento y consiguieron escapar. El *Didinium* no es un cazador activo; se limita a ingerir lo que encuentra cerca. Por tanto, las presas, en el sedimento, estaban a salvo, pero eso llevó a la extinción del *Didinium* por falta de alimento. Una vez desaparecido el depredador, el *Paramecium* volvió a multiplicarse hasta llegar a su nivel de población saturada. De nuevo, Gause no había conseguido recrear las condiciones naturales ni de la cadena alimentaria más básica. Los refugios espaciales evitaron la extinción de la presa, pero provocaron la extinción del depredador, mientras que las ecuaciones Lotka-Volterra predecían una oscilación en el número de depredadores y presas. ¿En qué estaba fallando?

Gause añadió a su experimento otro factor: la inmigración. Introdujo cada tres días unos cuantos depredadores *Didinium*, y así por fin consiguió reproducir las oscilaciones linces-liebres observadas en Canadá y predichas en los modelos matemáticos. La coexistencia de presas y depredadores era posible si la presa tenía refugios y el depredador no estaba confinado en un espacio restringido, es decir, en una situación semejante a la que observamos en el mundo natural.

Gause demostró que dos especies pueden coexistir hasta cuando compiten por los mismos recursos, solo que con abundancias diferentes que cuando viven sin competidores, y que las especies que tienen ventaja para la utilización de los recursos acabarán siendo «dominantes», más abundantes que las otras. Gause también demostró que presas y depredadores pueden coexistir en el mismo medio siempre que la presa cuente con refugios para escapar del depredador.

En nuestro planeta habitan millones de especies. Hay ecosistemas, como los arrecifes de coral y los bosques tropicales, donde decenas de miles de especies coexisten en un equilibrio que parece milagroso. ¿Cómo pasamos de dos especies a decenas de miles? ¿Cómo se juntan las especies para crear estos magníficos ecosistemas? Para empezar a responder a estas preguntas hicieron falta muchos científicos de

diferentes lugares y épocas, todos estudiando entornos naturales.

4

Sucesión

En 1970, dos biólogos marinos que trabajaban en Hawái, Richard Grigg y James Maragos, acometieron la labor de entender cómo se desarrollan con el tiempo los arrecifes de coral. El problema: la longevidad de algunos corales, que viven décadas, cuando no siglos, hacía imposible en la práctica estudiar su proceso vital. Pero Grigg y Maragos tuvieron una idea.

La isla de Hawái está bajo el influjo del volcán Kilauea, todavía activo, que genera ríos de lava periódicamente. Muchas veces hemos visto filmaciones de los ríos de lava que llegan hasta el océano, ya sea en forma de cascada de un rojo brillante o como una masa que repta, viscosa como el alquitrán. Cuando la lava caliente llega al océano Pacífico sisea y chisporrotea, evapora el agua y genera violentas explosiones de vapor blanco. Los ríos de lava de mayor tamaño siguen adelante bajo el agua hasta que se solidifican y se convierten en parte del lecho marino.

La lava destruye ecosistemas. Cuando desciende por la ladera de un volcán vaporiza todo lo que encuentra a su paso y luego lo entierra en un sarcófago de basalto que se endurece en cuanto se enfría, ya sea en tierra o bajo el agua. Al mismo tiempo, los ríos de lava regeneran la vida: la destrucción de los ecosistemas proporciona un sustrato virgen que diferentes especies pueden colonizar.

Grigg y Maragos descubrieron que había un registro preciso de las fechas de los ríos de lava desde 1801. Midieron la diversidad y la abundancia de diferentes tipos de corales en zonas submarinas cubiertas por ríos de lava en un período comprendido entre 102 y 1,6 años antes de su estudio. La fecha de los diferentes ríos de lava les permitió sustituir espacio por tiempo en este experimento natural. El experimento no tenía que durar décadas: el volcán les había dejado el trabajo ya hecho.

Grigg y Maragos descubrieron que no todas las especies de corales llegaban al mismo tiempo. Algunas eran «pioneras», se asentaban y crecían antes, mientras que otras tardaban más en colonizar la zona. En lugares de poca profundidad, más expuestos, la recuperación tardó veinte años, pero en otros más protegidos, el arrecife de coral tardó más de cincuenta años en recuperarse.

Podemos extraer varias lecciones de este estudio. En primer lugar, los pioneros que llegan antes y crecen más deprisa pueden no ser los que más duren. Los pioneros vienen a ser como las hierbas que crecen tras el incendio de un bosque, mientras que los árboles tardan más en colonizar la zona.

En segundo lugar, una comunidad ecológica en un entorno más estable en el tiempo (como un arrecife más profundo, que sufra menos la acción de las olas, por ejemplo) tardará más en formarse. Esto se debe a que los corales de las profundidades son de crecimiento más lento. Para desarrollarse, las colonias viejas de corales necesitan un medio sin alteraciones drásticas. Y las hay muy viejas: un estudio reciente ha demostrado que, en las aguas más profundas de Hawái, hay comunidades coralinas que tienen más de quince mil años. Por el contrario, en las aguas menos profundas, los arrecifes sufren el ataque destructor de las tormentas tropicales, y las únicas especies que pueden colonizar estas zonas son las pioneras, las de crecimiento rápido.

Por último, en la formación de un ecosistema intervienen muchos factores. El estudio de los ríos de lava nos demostró que las especies con diferentes características (como, por ejemplo, distinta velocidad de crecimiento) crecen y medran en diferentes momentos y lugares. Gause nos enseñó que hasta un ecosistema muy sencillo, con tan solo tres especies (una presa, un depredador y un depredador superior), puede ser complejo y las relaciones internas pueden modificarse según los cambios del entorno. Si es así, ¿cómo es posible que miles de especies se junten y formen ecosistemas maduros y funcionales como las selvas tropicales o los arrecifes de coral? ¿Cómo se desarrollan los ecosistemas? ¿Existen unas reglas de ensamblaje de ecosistemas, una especie de hoja de instrucciones para montar muebles?

Pongamos por ejemplo una casa. No se puede empezar a construir nada hasta que están tendidos los cimientos, y solo después podemos levantar las paredes. Las cañerías y la electricidad solo se

instalan cuando ya hay paredes, igual que las puertas y el tejado. Tras las cañerías viene la pintura, y solo cuando tenemos ya todo lo demás pueden entrar los muebles. En resumen, el montaje de la casa tiene que seguir una sucesión lógica de pasos. Tal vez una selva, o un arrecife de coral, sigan una progresión ecológica semejante.

Las distintas especies no tienen un plan arquitectónico, pero los ecosistemas se construyen mediante un proceso progresivo que los científicos denominan «sucesión ecológica». La sucesión se rige según unas pocas reglas que dictan cómo llegan las especies y en qué orden colonizan un lugar, como sucedía con las diferentes especies de corales en los ríos de lava de Hawái, y las propiedades que resultan de esa unión.

Si los ecosistemas expuestos a alteraciones constantes no pueden desarrollarse más allá de unos estadios básicos, ¿qué pasa en un entorno relativamente estable durante siglos o milenios? Veamos, por ejemplo, los bosques.

Los bosques son los ecosistemas más complejos de la superficie terrestre y contienen más de la mitad de los tipos diferentes de plantas y animales. ¿Qué sucesión ecológica lleva a un bosque maduro? ¿Cómo se origina un bosque?

Imaginemos los bosques más antiguos de la Tierra, los llamados bosques primigenios, jamás talados. Un bosque en las sierras de California, con secuoyas tan altas como largo es un campo de rugby, que ya crecían allí cuando se construyó la gran pirámide de Egipto. Un bosque en el este de Polonia con robles que brotaron de bellotas cuando Colón llegó al Caribe y ahora tienen una altura de diez pisos. La selva amazónica, donde hay más especies que crecen en un único árbol de la castaña que en una hectárea de Europa. Estos bosques son tan viejos como el árbol más viejo que hay en ellos, como mínimo. ¿De qué manera nacieron?

Imaginemos ahora que un incendio arrasa parte de un bosque. En lugar de un manto verde tenemos tierra negra, calcinada. Pero no tarda en emerger una vida nueva. Los europeos amantes de las setas silvestres saben que las colmenillas y los espárragos se dan bien en

zonas quemadas. Mi padre me llevaba a forrajear cuando era pequeño, y me encantaban las setas salteadas, recogidas unas horas antes en los pinares y robledales que teníamos cerca de casa (cosa que me vino de maravilla años más tarde, en los días en que el clima de Córcega no nos dejaba bucear). Pero aunque no conozcamos el mundo de las setas, veremos crecer la hierba verde a las pocas semanas del incendio. ¿De dónde vienen los hongos, las hierbas?

Por lo general, un incendio forestal solo quema la superficie del terreno y deja intacta la tierra que hay debajo. En esta tierra hay semillas de plantas que llevan tiempo esperando salir a la luz, literalmente. Las copas de los árboles no dejan pasar los rayos del sol, así que muchas plantas no pueden florecer, pero las semillas sobreviven bajo tierra durante décadas. Por ejemplo, hay zonas del desierto de Atacama, en Chile, donde no había llovido nunca, o al menos desde que la gente tiene memoria. Es un terreno árido donde no parecía haber vida. Pero en 2018 llovió por primera vez en un siglo, y a los pocos días el erial polvoriento se transformó en una alfombra multicolor de flores. Estas flores se reprodujeron a su vez y las semillas quedaron enterradas en el desierto, donde se secaron una vez pasó el efecto milagroso de la lluvia. Y allí han quedado, a la espera de que les llegue su ocasión; sus quince días de fama. Puede que sea dentro de un siglo. La naturaleza no tiene prisa, pero acaba por hacerlo todo.

Los hongos no se reproducen mediante semilla; por lo general, utilizan filamentos que crean redes impresionantes en la tierra de los bosques. Las setas que conocemos, las del sombrero, son los órganos reproductores que producen esporas para que el viento las disperse y lleve más lejos los hongos. Hay hongos parásitos, pero otros son lo que da cohesión a la tierra. Algunas plantas, entre ellas muchos árboles, solo pueden absorber nutrientes del suelo gracias a la simbiosis con los filamentos fúngicos. En este sentido, la tierra es como los cimientos de la casa: sin cimientos no hay casa, y sin un suelo vivo, sin hongos, gusanos, insectos y microbios no hay bosque.

Las hierbas crecerán gracias a los nutrientes del suelo de las cenizas del antiguo bosque. Se extenderán, y sus raíces poco profundas darán estabilidad al terreno quemado y permitirán que germinen y crezcan las semillas de otras plantas cuando el viento las lleve hasta allí. Las hierbas, además, atraerán insectos que se alimentarán de sus

hojas. Los insectos atraerán a pájaros pequeños que se alimentarán de ellos. Un pájaro pasará volando y dejará caer excrementos con semillas de un arbusto de otra zona, que al crecer proporcionará hábitat adicional para otras especies. Estas especies pioneras posibilitan la llegada de otras al crear las condiciones para el desarrollo de un ecosistema.

Al final llegarán las semillas de árboles dominantes, procedentes de bosques cercanos que no hayan ardido. No todas sobrevivirán ni crecerán. Tardarán un tiempo, pero acabarán dominando el ecosistema, que volverá a tener aspecto de bosque. Con más tiempo, las copas crecerán y se harán más densas, y dejarán el terreno en la sombra, con lo que las plantas más pequeñas que necesiten más luz quedarán relegadas y a la espera de otra oportunidad. Puede que caiga un rayo y queme un árbol, con lo que se abrirá un hueco y entrará la luz. Será de nuevo el momento de las pioneras.

En los años cincuenta y sesenta del siglo pasado, un ecologista estadounidense, Eugene Odum, y un asombroso ecologista catalán, Ramón Margalef, entre otros, empezaron a extraer pautas de estudios llevados a cabo en diferentes ecosistemas y lugares del mundo. Admito que tengo debilidad por Margalef porque me eduqué en su escuela de pensamiento en la Universidad de Barcelona y tuve el privilegio de escuchar algunas de las últimas conferencias que dio como docente. Estos gigantes de la ecología tenían una habilidad extraordinaria para identificar pautas en medio de cantidades ingentes de información y llegar a síntesis maravillosas.

Odum y Margalef concluyeron que la sucesión ecológica era una secuencia de procesos predecibles. Por ejemplo, con el tiempo, un bosque se convertirá en un rompecabezas de arbustos, árboles pequeños y árboles grandes de muchas especies. Su abundancia y distribución dependerá de factores muy diversos, como la dispersión de las semillas gracias a los pájaros y los mamíferos, la inclinación del terreno o el pH del suelo. No podemos predecir con exactitud el camino exacto que tomará la sucesión ecológica, pero sabemos que las hierbas bajas serán las primeras en colonizar, seguidas por los

arbustos y, por último, los árboles. Hay especies que no pueden darse a no ser que otras hagan una labor previa. Por ejemplo, las bromelias son plantas con una variedad asombrosa: unas tienen hojas finas como agujas; otras, anchas y planas; otras, blandas, o espinosas, verdes, doradas o marrones. Por ejemplo, el musgo conocido como «barba de viejo» vive sobre otras plantas; por lo general, árboles. Son las llamadas «epifitas», palabra derivada del griego y que significa «sobre plantas». Las bromelias tropicales pueden llegar a ser muy grandes y pesadas, así que tienen que crecer en árboles de ramas gruesas y fuertes, y estos árboles a su vez necesitan hongos que creen una red subterránea que les permita absorber nutrientes de la tierra. Son procesos superpuestos de lo que llamamos facilitación ecológica.

Odum y Margalef, cada uno por su lado, advirtieron que ciertas propiedades salen a la luz durante la sucesión ecológica con independencia del ecosistema en el que se den. Hay cosas que suceden con el tiempo y son comunes a los arrecifes de coral, los humedales, los bosques, las praderas o el jardín de casa... cuando dejamos de cuidarlo.

Gracias a una plétora de estudios, llegaron a la conclusión de que, con el tiempo, cuando un ecosistema madura, se incrementa el número de especies en la zona. Esto se debe a que la abundancia de las especies que proporcionan la arquitectura viva del ecosistema (las plantas en el bosque, los corales en el arrecife...) también es mayor, y al mismo tiempo crece la complejidad tridimensional del ecosistema. No solo hay más tipos de criaturas; su biomasa total, es decir, su peso combinado, crece con el tiempo hasta el punto de saturación, como sucedía con los microbios en los tubos de ensayo de Gause. Llega un momento en que las leyes de la física impiden que haya más árboles grandes o más hojas por metro cuadrado.

Cuantos más agujeros, recovecos, grietas y fisuras haya, cuantos más árboles altos, arbustos y troncos secos, más microhábitats habrá y más especies podrán colonizarlos. Por ejemplo, hay hongos que solo crecen en los troncos de árboles muertos. En el Reino Unido hay unas especies muy raras de hongos que se redescubrieron de milagro solo porque los dueños de una finca privada permitieron que los árboles secos siguieran su proceso de sucesión natural, descompuestos por fuerzas naturales. En el resto del país lo normal era talar los árboles secos para hacer leña o mantillo, con lo que esos hongos habían

desaparecido. Los árboles secos o moribundos también eran los preferidos de los pájaros carpinteros a la hora de construir nidos porque la madera era más blanda. En las zonas más cálidas de los bosques tropicales, una cuarta parte de las especies de plantas son epifitas, como las orquídeas. Las orquídeas no solo prefieren ciertas especies de árboles; también les gustan más las ramas altas de la copa para escapar de las sombras de las ramas bajas... donde, por cierto, viven otras orquídeas que toleran mejor la falta de luz. Y así *ad infinitum*.

Las especies pioneras suelen ser generalistas, es decir, que pueden comer lo que sea y crecer en cualquier parte. Con el progreso de la sucesión ecológica llegan las especialistas, o sea, las especies que tienen requisitos más estrictos para la supervivencia, como los colibríes que solo se alimentan del néctar de las flores de un tipo concreto de planta tropical. Los ecosistemas evolucionan hacia una complejidad que Margalef denominó «el barroco» de la naturaleza.

La labor que llevan a cabo las diferentes especies, es decir, los procesos naturales que desempeñan, también cambian con el tiempo. A medida que el bosque crece, la cantidad de madera y hojas se incrementa. La productividad del bosque asciende hasta que llega al límite y se satura. Un bosque llega al límite cuando no hay espacio físico para más madera. Llegado ese punto, las copas de los árboles han creado un dosel que hace que no quede más luz disponible para las plantas. Estos árboles alcanzarán una edad y un tamaño tales que será físicamente imposible que crezcan más.

En las primeras etapas de sucesión, las hierbas crecen muy deprisa: su biomasa se puede duplicar en una semana, lo que mide su abundancia en peso, por ejemplo, en kilos por metro cuadrado. Pero un bosque maduro, dominado por árboles viejos, parecerá inmutable a los ojos humanos. En otras palabras: cuanto más maduro es un ecosistema, cuantos más habitantes tiene y más conexiones hay entre ellos, cuanto más lentos son los cambios... más baja es su tasa de renovación.

El crecimiento de un bosque es magia pura, una alquimia natural a la que apenas prestamos atención porque la damos por hecha, pero si nos paramos a pensar, es un proceso increíble. Este proceso increíble es, además, continuo, y nos está ayudando a impedir una catástrofe climática a nivel mundial. En eso estriba la magia: las

plantas utilizan la luz del sol para transformar en crecimiento un gas invisible que hay en el aire. Este gas invisible es el dióxido de carbono, o CO_2, que se encuentra de manera natural en la atmósfera terrestre. Las plantas emplean la energía presente en la luz del sol para dividir el CO_2 en sus componentes básicos, carbono (C) y oxígeno (O). El carbono lo transforman en azúcares y en crecer con ayuda del agua. El agua, a través de las raíces, proporciona nutrientes esenciales como el nitrógeno y el fósforo recogidos del suelo. Las plantas liberan el oxígeno a la atmósfera. Este proceso de tomar el carbono del aire y convertirlo en masa de las plantas (hojas, madera, raíces) se denomina secuestro de carbono. Las plantas de la Tierra, desde las algas microscópicas del océano hasta las secuoyas gigantes del oeste de Estados Unidos, se encargan de eliminar cada año la mitad de la contaminación por carbono que provocamos. A medida que el bosque madura en la sucesión ecológica, almacena más y más carbono. En forma de madera, sí, pero también en el suelo. Los trucos de magia no cesan.

A mayor número de hojas producidas, mayor número de hojas muertas en el suelo del bosque. Son los residuos de la naturaleza. Pero si el suelo del bosque es una especie de vertedero, ¿por qué no vemos en un bosque caducifolio una alfombra de hojas muertas de varios metros de espesor? Nuestra basura se acumula, ¿no? Pero las hojas son orgánicas, biodegradables y cien por cien reciclables. Son el compost por excelencia. En un bosque viejo hay muchos insectos, hongos y bacterias que se alimentan de las hojas muertas y las descomponen en sus nutrientes básicos, que a su vez se reincorporan a la red alimentaria del bosque cuando el agua los transporta por las raíces de los árboles. La naturaleza es una verdadera economía circular: no hay desperdicio; todo se reutiliza para producir otras cosas. Por irónico que parezca, cuanto más maduro es un ecosistema, más desechos produce, pero más importantes son para regenerar los nutrientes que mantienen al bosque vivo y en crecimiento constante.

La cosa no termina ahí. Se ha dicho a menudo que los bosques son los pulmones del planeta, pero la verdad es que la mayor parte del oxígeno lo producen las bacterias y las algas microscópicas del océano. De hecho, buena parte del oxígeno que genera el bosque lo respiran (o sea, lo queman para convertirlo en energía) los animales que lo habitan; lo necesitan para el proceso de consumir toda la

materia vegetal que produce el bosque. Lo que sí se puede decir es que los bosques son las glándulas sudoríparas del planeta. Los árboles absorben agua de la tierra, la suben hacia las ramas y la liberan, sobre todo en forma de vapor, a través de las hojas. Este proceso, equivalente a sudar para nosotros, se denomina evapotranspiración: la evaporación del agua hace que las plantas transporten más agua del suelo hasta las hojas, que sudarán, liberarán el agua en forma de vapor, al aire circundante. A nosotros la evaporación del sudor nos sirve como sistema para refrigerar el cuerpo. La evapotranspiración baja la temperatura en el bosque entero.

Al final de la sucesión, el ecosistema alcanza lo que se denomina «clímax», la culminación de los procesos de crecimiento. El ecosistema está en su punto más barroco y, a la vez, más eficiente. Pero ¿cuánto duran un ecosistema concreto y su clímax?

Mi colega y amigo John Pandolfi se dedica a la paleontología: estudia los fósiles para comprender cómo ha evolucionado la vida en la Tierra en el pasado geológico reciente. John ha estudiado los arrecifes de coral del Caribe, en los bancales submarinos que surgieron tras la última era glacial, hace 115.000 años. Descubrió que dos especies de corales del tipo *Acropora*, de crecimiento rápido, dominaban el registro fósil en los arrecifes de los bajíos: el coral cuerno de venado, con ramas cilíndricas dispuestas de manera semejante a las astas de un ciervo, y el coral cuerno de alce, de ramas planas y anchas como la cornamenta de este animal. Son corales pioneros, que se reproducen y crecen muy deprisa. Los arrecifes del Caribe sufren el impacto de huracanes casi cada década, y los de aguas menos profundas acaban destruidos, pero siempre vuelven porque los *Acropora* tienen la capacidad de crecer rápido y recolonizar los arrecifes entre huracán y huracán.

Los huracanes y el oleaje son relativamente frecuentes, de manera que la sucesión ecológica de un arrecife de coral típico de los bajíos nunca ha ido más allá de comunidades compuestas casi exclusivamente por cuernos de alce (en las aguas más superficiales) y cuernos de venado (en aguas un poco más profundas). El ciclo ha sido

huracán, coral destruido, arrecife de *Acropora*, huracán, destrucción, arrecife de *Acropora*, y así sucesivamente... al menos hasta la segunda mitad del siglo XX, momento en que la combinación de diversas actividades humanas ha cambiado el entorno hasta el punto de que los corales *Acropora* tienen que luchar para sobrevivir.

Los ecosistemas más antiguos tardan mucho tiempo, siglos, milenios incluso, en configurarse. La información solo se acumula con el tiempo y con una larga sucesión de eventos. En cambio, la pérdida suele darse de manera catastrófica: un incendio destruye miles de años de crecimiento de un bosque, un río de lava acaba con un coral centenario. Construir un criadero de gambas quizá implique talar en pocos días un manglar de siglos de antigüedad.

Las alteraciones naturales, como los incendios forestales, los rayos o los ríos de lava, reiniciarán el reloj de la sucesión en algunas zonas de los ecosistemas. El rayo que derriba un árbol grande y abre un hueco entre las copas del bosque tropical, o los herbívoros grandes que remueven el suelo del bosque templado, favorecen también este reinicio. Así, un bosque viejo no será necesariamente una bóveda homogénea de copas de árboles añosos, sino un mosaico de zonas en diferentes etapas de la sucesión: árboles viejos allí, una zona de bosque en su clímax allá, un claro recién abierto aquí, árboles jóvenes en un claro que se abrió hace pocas décadas acullá, y así sucesivamente. Un ecosistema maduro saludable no es una imagen monocolor, sino una manta de recuadros cosidos que evoluciona y responde a los cambios, tanto a los medioambientales como a los que tienen lugar en su interior.

Los entornos que hemos construido también siguen los principios de la sucesión. En la actualidad, China es capaz de levantar una ciudad relativamente deprisa, pero, en el pasado, las ciudades crecían de manera orgánica. Los primeros colonos holandeses que empezaron a construir Manhattan solo tenían cabañas de madera, unos cuantos oficios básicos y muy pocos servicios públicos. Tardaron más de doscientos años en pasar de una población de unos pocos cientos a ser más de ocho millones con diferentes trabajos (el equivalente urbano a los roles de cada especie en un ecosistema no humano), de basureros a médicos a peluqueros para perros, y todo ello hablando cientos de idiomas distintos. Hoy en día no queda ni rastro de las cabañas originales en Nueva York, sin embargo nos muestra una exuberante

variedad de edificios de ladrillo, acero y cristal que van desde los de un solo piso hasta los de 541 metros de altura, de los de antes del siglo XX a los que aún están en construcción, con o sin ascensores. El índice de crecimiento de Nueva York se ha ralentizado con el tiempo: el tamaño del asentamiento original se duplicó en tan solo un año, pero, en la actualidad, los cambios anuales de la ciudad son minúsculos en comparación con su tamaño y nivel de complejidad. Solo tras la demolición de un edificio puede haber un crecimiento nuevo, igual que sucede en los claros de los bosques.

A pesar de estas similitudes, hay una tensión inherente entre el desarrollo del ecosistema y el progreso humano. Los seres humanos prefieren la cantidad a la calidad, el crecimiento al desarrollo, la producción a la protección, y, por lo general, de la manera menos eficiente. Los ecosistemas naturales siguen su propia organización con un incremento en la riqueza de las especies, el tamaño y la edad de los organismos, la biomasa, la productividad, la eficacia en el reciclado de la materia orgánica, la estructura tridimensional creada por los organismos vivientes y la estabilidad, entre otras muchas propiedades. No obstante, los seres humanos se aferran a una idea y se concentran en ella sin mirar a derecha ni izquierda. Convertimos los ecosistemas maduros en monocultivos, en cultivos de una sola especie, que son los ecosistemas más simples. Nos ponemos las anteojeras y damos prioridad a una única especie, elegida por su rápido crecimiento (como sucede en los maizales de Iowa o en las granjas de salmones de los fiordos chilenos) y centramos en ella todo nuestro esfuerzo, en detrimento de las especies que la rodean. Estos monocultivos tienen como objetivo proporcionarnos alimento, pero son, por irónico que parezca, lo más parecido que existe a un erial en lo que respecta a la madurez de los ecosistemas: el anticlímax. Los entornos artificiales son intentos fallidos de recrear la configuración y la productividad de los ecosistemas naturales, diseñados para satisfacer nuestras necesidades.

Estamos cortando en seco, a veces incluso invirtiendo, la sucesión ecológica en toda la biosfera; estamos convirtiendo ecosistemas complejos en sistemas simples, homogéneos, con altas tasas de renovación. En definitiva, estamos acelerando y fragmentando la biosfera. ¿Quiere esto decir que nos estamos aislando de la naturaleza? ¿O nos estamos sumergiendo en la naturaleza a más profundidad de lo que esta puede tolerar? Merece la pena plantearse

estas preguntas mientras intentamos aprender cómo funciona la naturaleza, y una manera de darles respuesta será examinar las fronteras entre los diferentes ecosistemas.

5

Fronteras

Una vez al año, junto a la costa de Sudáfrica, tiene lugar un milagro. Sopla un viento estacional paralelo a la costa que desplaza la superficie del agua a lo largo de la orilla. El agua desplazada se intercambia por agua procedente de las profundidades. El afloramiento de aguas profundas, ricas en nutrientes, provoca la aparición masiva de algas microscópicas, el fitoplancton, que aprovecha los fertilizantes de las profundidades combinados con la luz del sol. Estos florecimientos de algas son visibles desde el espacio en forma de hermosos parches y torbellinos verdes que aparecen en las fotos tomadas por los satélites.

Cuando las aguas profundas, ricas en nutrientes, llegan a la superficie, ponen en marcha una sucesión planctónica, igual que cuando un árbol caído en el bosque reinicia la sucesión forestal. Al principio se desarrollan las bacterias más pequeñas y el fitoplancton capaz de llevar a cabo fotosíntesis. Luego viene el fitoplancton más grande, como las diatomeas, con esqueletos cristalinos que se generan gracias al sílice disuelto en el agua del mar. La abundancia de presas lleva de manera inevitable a un incremento de oportunidades para los depredadores: la abundancia del fitoplancton grande atrae a los depredadores pequeños, que a su vez atraen a los grandes, con lo que se crea una magnífica red alimentaria de cuatro o cinco niveles. Los depredadores del fitoplancton también son microscópicos, sobre todo animales diminutos semejantes a gambas: el zooplancton. A medida que crece la biomasa del zooplancton, miles de millones de sardinas, que se alimentan de zooplancton, llegan a tiempo para el banquete anual. A veces se han visto migraciones de sardinas de ocho kilómetros de largo junto a la costa de Sudáfrica.

Así, en cuestión de semanas, se configura una de las redes alimentarias más extraordinarias del planeta. La abundancia colosal de

las sardinas atrae a depredadores grandes: atunes, tiburones, leones marinos, aves de todo tipo, delfines, ballenas grandes... Todos hemos visto estos momentos de locura devoradora en los documentales de la naturaleza. Un gran banco de sardinas queda rodeado de depredadores. Como mecanismo de defensa, las sardinas se juntan hasta formar una esfera densa, que tiene el ominoso nombre de «bola de cebo», que se mueve y gira a una velocidad enloquecida. La esfera de sardinas que se desplaza muy deprisa hace que a los depredadores les cueste dar caza a un individuo en particular. Las sardinas encuentran seguridad en el número, pero para los depredadores lo que hay es eficacia: los atunes y los delfines empujan la bola de cebo hacia la superficie, con lo que se reducen las posibilidades de que las sardinas escapen. Y el peligro acecha también desde el cielo: hay cientos de aves, como los piqueros patirrojos, que descienden en picado para capturar sardinas una a una. Las sardinas, atacadas por todos los frentes, no pueden hacer nada, y su número se reduce rápidamente. La gota que colma el vaso es la llegada de las ballenas, que se aprovechan de que otros depredadores han reunido a las presas. Una ballena grande que ascienda desde las profundidades con la boca abierta puede devorar decenas de miles de sardinas de una tacada. Al final, de las sardinas no queda más que una lluvia de escamas plateadas hundiéndose en el océano.

¿Qué principios ecológicos aprendemos de este espectáculo asombroso? ¿Y qué tiene que ver con la explotación de los ecosistemas naturales por parte de los seres humanos?

La frontera entre los florecimientos de plancton, y más tarde entre el enorme banco de sardinas, y las aguas que los rodean es muy marcada y asimétrica: en un punto hay una sopa densa de plancton y sardinas, y a un metro solo hay agua. Pero son fronteras permeables y activas porque los depredadores pueden entrar y salir. La energía, en forma del alimento que todos los organismos necesitan para sobrevivir, también traspasa esas fronteras.

En el caso del florecimiento de plancton, a un lado del límite tenemos un ecosistema en sus primeras etapas de sucesión: algas microscópicas de crecimiento rápido con una alta tasa de renovación. La productividad de estos florecimientos de plancton es asombrosa. Cada fitoplancton individual se divide al menos una vez al día. Al otro lado del límite, el ecosistema está habitado por vertebrados grandes

con una tasa de renovación mucho más baja: la población de ballenas, por ejemplo, tarda décadas en duplicarse.

La energía que se produce en el ecosistema menos maduro, alimento en forma de fitoplancton al principio y de zooplancton después, cruzará el límite y se trasladará al ecosistema más maduro, las aguas abiertas donde habitan mamíferos marinos y la zona costera donde están las aves. Es la manera que tiene el ecosistema maduro de explotar al menos maduro. La energía se mueve solo en esa dirección, aunque la capacidad de control se mueve en la dirección contraria. En el ejemplo de Sudáfrica, la productividad del fitoplancton se exporta a los depredadores que viven en la zona circundante, pero los depredadores determinan cuánto dura la migración de las sardinas. Los depredadores grandes regulan la abundancia de la presa y, por tanto, la estructura de la comunidad ecológica.

Este mismo patrón lo encontramos en la mayoría de las fronteras asimétricas de la naturaleza: cuando tenemos una frontera activa, la energía que se produce en el lado menos maduro sirve para que el más maduro progrese en su sucesión ecológica. Y el patrón se repite en el espacio, lo mismo que en el tiempo: por ejemplo, los animales del bosque, como los ciervos, se refugian entre los árboles, pero se trasladan a los claros o a los prados para pastar. Los ciervos se comen las plantas de los claros antes de que tengan tiempo de crecer, y así los mantienen en una etapa inmadura de la sucesión ecológica. La energía producida por la hierba de los claros y praderas no la pueden utilizar sus respectivas comunidades para avanzar en la sucesión, sino que se exporta al bosque a través de las heces de los ciervos, y allí sirve como abono para contribuir a su madurez. La pradera produce una nueva biomasa de hierba y quema mucha menos energía de la que produce. Por el contrario, el bosque maduro respira (quema) toda la energía que produce, con lo que no hay excedentes. En este caso, el bosque explota a la pradera.

La sucesión ecológica dentro de una comunidad se basa en esta misma tendencia: la energía que se produce en una etapa de la sucesión se emplea dentro del ecosistema para incrementar la madurez del

sistema entero. Pero, en ocasiones, una comunidad no madura. Puede deberse a dos causas.

La primera, tal como vimos en los arrecifes de Hawái, las turbulencias físicas continuas y violentas limitan el progreso de la comunidad en la sucesión ecológica. En este caso concreto, la alta energía del oleaje en los arrecifes de aguas menos profundas impide que se formen colonias de corales grandes con estructuras complejas. La segunda, la sucesión se puede detener en una comunidad debido a la explotación de un sistema más maduro. Es el caso de la migración de la sardina y la persecución de los depredadores. Sin explotación, el límite bien marcado entre el florecimiento de plancton y el agua circundante tardaría más tiempo en desaparecer. Es también el caso de los ciervos que pastan en las praderas: el límite entre el bosque y el claro solo puede existir si el ecosistema más estable, el bosque, explota el claro.

¿Todas las fronteras se encuentran entre dos ecosistemas contiguos? No necesariamente: a veces hay fronteras entre dos ecosistemas muy distantes. Mientras trabajé en el Instituto Scripps de Oceanografía, en California, siempre tenía unos prismáticos en el escritorio por si aparecían ballenas grises, que hacen un trayecto migratorio entre Alaska y Baja California, en México, dos veces al año: cuando llega el verano, se desplazan hacia el norte para alimentarse en las aguas ricas de Alaska. En el hemisferio sur, las ballenas jorobadas llevan a cabo una migración similar entre las aguas tropicales del Pacífico oriental, cerca de Colombia, y los fiordos chilenos.

Las ballenas grises migran hacia los días más largos del verano de Alaska, cuando la luz del sol genera florecimientos de plancton que, a su vez, provocan una explosión de invertebrados y peces de aguas poco profundas. El verano es la estación con la tasa de renovación más alta, cuando más alimento se produce y más pueden comer los depredadores. Las ballenas aprovechan la oportunidad y se desplazan hacia el norte, donde la comida abunda más, al objeto de prepararse para la temporada de reproducción. En otoño hacen el mismo trayecto en dirección contraria, hacia las aguas poco profundas de Baja California, donde estarán a salvo de las inclemencias del tiempo para aparearse y parir. Cuando las crías ya están listas, las ballenas grises vuelven a migrar hacia el norte, hacia Alaska. En este ejemplo, los

animales que se desplazan crean una frontera activa entre dos ecosistemas que se encuentran a 3.700 kilómetros de distancia.

Las migraciones estacionales de las aves mueven las fronteras activas todavía más. La fardela negra, un pájaro pequeño, va del mar de Bering a las aguas del Antártico todos los años. Cruza el Pacífico entero en una trayectoria en forma de ocho, con lo que recorre 64.000 kilómetros. El charrán ártico, que pesa menos de 120 gramos, vuela más de 70.000 kilómetros cada año para desplazarse entre Groenlandia y la Antártida. Llevarían a la ruina a la compañía aérea que les diera una tarjeta de fidelidad.

Muchas especies de aves anidan en el norte de Europa durante el verano, cuando hay gran cantidad de insectos, y migran a África en invierno. Siento debilidad por el halcón de Eleonora, que anida en los acantilados verticales de piedra caliza de algunas islas del Mediterráneo. Este halcón cría a sus polluelos más tarde que otros halcones del Mediterráneo para sincronizar la nidada con la migración hacia el sur de la golondrina común. No hace falta comentar con qué alimenta este halcón a sus crías. Es otro ejemplo de cómo los animales migratorios explotan los diferentes ecosistemas en diferentes estaciones, con lo que crean fronteras activas al desplazarse.

No todas las fronteras son asimétricas en la naturaleza. Si nos situamos a suficiente distancia para ver la montaña entera, la frontera entre el robledal y el pinar de Córcega parece una línea bien definida. En cambio, si subimos caminando por la ladera y pasamos por la zona de transición, veremos que es más difusa: primero estamos en un bosque donde la especie dominante es el roble; poco más arriba empiezan a aparecer los primeros pinos. Si seguimos, los robles son cada vez más escasos, hasta que llegamos al último y nos encontramos en un bosque dominado por los pinos. Decimos que esta frontera es simétrica porque, si trazamos una línea entre los dos bosques, a ambos lados tenemos una zona de transición con un número similar de pinos y robles.

En los entornos artificiales también hay fronteras simétricas: la transición entre las zonas residenciales de las afueras, que se extienden como los tentáculos de un pulpo desde el centro de la ciudad, y el medio natural, por ejemplo.

Las fronteras entre los sistemas naturales pueden ser simétricas, con una transición suave entre dos comunidades ecológicas, o asimétricas, cuando el cambio entre comunidades es muy marcado. Las fronteras asimétricas las puede mantener una frontera física, como las orillas de un río, o también se dan cuando el ecosistema a uno de los lados explota al otro. El ecosistema más maduro suele ser el explotador, y entre explotador y explotado hay un flujo neto de energía. ¿Qué significa esto en el caso de los ecosistemas humanos y nuestra interacción con el resto de la biosfera?

Los humanos extraen energía de los ecosistemas naturales en forma de madera, combustibles fósiles u organismos vivientes, y de esta manera invierten la sucesión ecológica en esos ecosistemas. Es como cuando las ballenas se comen las sardinas: el ser humano impide que los ecosistemas naturales maduren más y avancen en la sucesión ecológica. Estamos en el nivel más alto de los explotadores de la naturaleza. La energía que extraemos del mundo natural que nos rodea fluye en una sola dirección: hacia nosotros y hacia la construcción de nuestro entorno.

De esta manera estamos creando fronteras asimétricas en los ecosistemas naturales y también entre el ecosistema natural y el humano. Por ejemplo, dentro de un ecosistema natural puede aparecer una frontera entre el bosque y un claro debido a la tala de árboles. Entre el ecosistema natural y el humano hay fronteras como los saladares cercanos al aeropuerto JFK en Nueva York. Se trata de fronteras asimétricas muy activas, porque seguimos explotando estos ecosistemas. De hecho, la explotación del mundo natural se ha vuelto crónica.

Las aves migratorias utilizan la energía del norte para reproducirse en el sur; de la misma manera, los seres humanos crean fronteras asimétricas en todo el planeta. Tomemos como ejemplo un bosque tropical en Borneo, un ecosistema maduro con una de las mayores diversidades de especies del mundo. Los seres humanos lo talan y plantan en su lugar palma para extraer aceite, un monocultivo con una diversidad casi nula. Solo hay un ecosistema menos maduro que este tipo de plantaciones: un bosque calcinado. El aceite de palma

se utilizará para fabricar alimentos que se consumirán en ciudades de todo el mundo, pero el ser humano no devolverá nada a ese ecosistema. Mientras los humanos sigan explotando la plantación, ese hábitat no recuperará su gloria ecológica, y seguirá existiendo la frontera asimétrica entre el bosque y la plantación.

¿Se aplican estos principios ecológicos —la creación y conservación de fronteras en las que un lado explota al otro— en la interacción entre seres humanos? ¿Hay fronteras entre culturas, países y civilizaciones, incluso entre barrios, con las mismas características que vemos en las de la naturaleza? Si la respuesta es afirmativa, ¿qué lecciones podemos aprender de la naturaleza para solucionar algunos problemas sociales muy acuciantes?

La frontera entre Tijuana y San Diego, por ejemplo, es asimétrica y muy definida, igual que toda la frontera entre Estados Unidos y México: un país a cada lado de la línea. En todo el mundo existen fronteras asimétricas entre entidades políticas, pero hoy en día no hace falta una proximidad física entre ellas. Los viajes, el transporte y el comercio han generado muchas más fronteras activas.

En el mundo natural, el ecosistema más maduro explota al otro con el que comparte frontera y así impide que avance en su trayectoria de sucesión. Esto nos indica que un país explotador puede impedir que otro país se desarrolle.

El producto interior bruto (PIB) es el becerro de oro que la mayoría de los Gobiernos utilizan para medir el desarrollo. El PIB, el valor monetario de todos los productos y servicios terminados que se generan en un país durante un año, se utiliza para calcular el tamaño de la economía y el índice de crecimiento... pero es de los peores indicadores de la prosperidad humana que nos podamos imaginar. Para empezar, no toma en cuenta la destrucción del mundo natural; de hecho, saca de la ecuación sus consecuencias devastadoras y las suma a la capacidad de manufacturación. Por ejemplo, si una inundación destruye una ciudad, las labores de reconstrucción harán que crezca el PIB, pese a que la inundación se podría haber prevenido con un ecosistema más saludable, mejor preparado para retener el

agua de lluvia. Para seguir, da por hecho que el único valor de una sociedad es aquel que se puede medir como parte de un mercado organizado, oficial. Si una tribu indígena protege la selva, esto no se incluye en el PIB, pero si se talan los árboles para hacer leña y venderla a otro país, sí. Y para terminar, no mide el bienestar ni la felicidad. A los países «menos desarrollados» se les pide que talen sus bosques y planten las cosechas que requieren los países industrializados. La mayor parte de esa energía no revierte en el ecosistema que la produce, sino que se utiliza para mantener e incluso impulsar a los países más ricos. La situación es semejante a la de los depredadores que explotan el florecimiento de plancton o los ciervos que pastan cerca del bosque: se está impidiendo que los países «menos desarrollados» mantengan la madurez cultural, y hasta se fomenta una regresión.

Es importante aceptar y reconocer que toda sociedad humana alcanza su propia sucesión cultural y ecológica. No hay un clímax único para todas las sociedades humanas, igual que no todos los ecosistemas del planeta se desarrollarán para convertirse en bosques. No todos los países tienen que construir una Nueva York o una Dubái. Wade Davis, mi amigo y colega explorador en National Geographic, lo explica muy bien: «El talento puro del ser humano y su potencial se pueden plasmar en obras magníficas de innovación tecnológica, el gran logro histórico de Occidente, o en el acto de resolver la compleja maraña de la memoria inherente a un mito, como hacen, por ejemplo, los aborígenes de Australia. Es cuestión de elección y orientación, de visión, adaptación y prioridades culturales».

Entre su entorno natural, muchos grupos indígenas viven en un mosaico de zonas en diferentes etapas de la sucesión. Sus costumbres generan fronteras simétricas con transiciones muy suaves, lo que contribuye a conservar la diversidad natural de los ecosistemas donde habitan. Un buen ejemplo son las tierras indígenas en el Amazonas brasileño, que se ven muy verdes en las fotos de satélite, y junto a ellas aparecen los rectángulos pardos talados para el pasto de ganado y la agricultura que no son de la zona. La elección cultural de los pueblos indígenas no es «menos desarrollada», como muchos parecen pensar. Si Occidente hubiera valorado y respetado las selvas y los bosques, en vez de considerarlos mercancía, no estaríamos sufriendo tantas consecuencias humanas y económicas del cambio climático.

Vamos a retomar el ejemplo de Nueva York sobre las fronteras que generan desigualdad en el mundo humano. La frontera entre la urbe y la zona agrícola es asimétrica y activa. Nueva York está conectada con más de cien países de todo el mundo mediante el transporte y el tráfico aéreo, así que tiene muchas más fronteras aparte de la física con la zona agrícola del norte. Podríamos afirmar que la ciudad de Nueva York es un ecosistema urbano maduro. Tiene una diversidad humana asombrosa: allí se hablan más de ochocientos idiomas diferentes, que es buena muestra de la nacionalidad de sus habitantes. La masa de estructuras no orgánicas (en este caso, cemento, metal y cristal, el equivalente a la madera en un bosque) es gigantesca. La tasa de renovación es relativamente baja: hay construcciones en marcha por doquier, pero la infraestructura de la ciudad no experimenta un crecimiento relativo importante cada año.

Pero quiero añadir que la ciudad de Nueva York es un ecosistema hipermaduro, mantenido de manera artificial y solo gracias a la explotación de otros ecosistemas más allá de sus fronteras. Por ejemplo, apenas produce alimentos. Si no le llegara comida de las zonas agrícolas de Estados Unidos y otros países, la masa humana se iría extinguiendo.

Tampoco produce mucha energía, así que tiene que importarla de plantas situadas en otros puntos del estado. No tiene reservas de agua potable, sino que la trae de las montañas Catskill, al norte de la ciudad. Lo mismo se puede decir de la mayor parte de los materiales necesarios para el mantenimiento de la ciudad.

Si se creara una frontera impermeable a su alrededor, una especie de muro alto que la aislara del resto del mundo, la población humana encerrada en el perímetro descendería enormemente. La madurez de la ciudad de Nueva York se debe exclusivamente a la explotación de otras zonas del país y, también, de otros países del mundo. Este principio se puede hacer extensivo a la totalidad de Estados Unidos: los núcleos urbanos solo mantienen su estado de hiperdesarrollo gracias a la explotación de las zonas agrícolas del Medio Oeste, que antes ocupaban praderas ricas y diversas con una biodiversidad única, y de muchos otros países del mundo. Este hiperdesarrollo conlleva un

consumo que excede de largo la producción, y de hecho se gastan más recursos de los necesarios. Cierto es que Estados Unidos paga por estos recursos en los mercados, y que en el mundo globalizado no existe ningún país autosuficiente, pero en la práctica recibe un flujo neto de energía procedente de otros países. La China actual, que sigue una trayectoria de sucesión similar a la occidental, también se está desarrollando gracias a la explotación de otros países.

Mientras el flujo de energía y recursos vaya de los países «pobres» a los «ricos», los primeros no podrán invertir esa energía en progresar en su trayectoria de sucesión, en convertirse en aquello que aspiran ser. Las fronteras entre países ricos y pobres permanecerán inamovibles, y la asimetría de esas fronteras perpetuará la desigualdad global. El objetivo de las Naciones Unidas de un desarrollo mundial sostenible seguirá siendo una ilusión mientras conservemos estas fronteras asimétricas y las relaciones de energía y productividad que perpetúan, mientras los que tienen el poder se empecinen en que solo hay una manera de medir el progreso humano.

Volvamos al tema de si el PIB es una medida precisa de la madurez de una sociedad humana. Lo que propongo es que, en su lugar, valoremos el nivel de nuestro conocimiento de las otras especies en su medio y la relación sostenible que se ha creado con ellas. Es una información que la humanidad ha acumulado con el tiempo, y además nos puede ayudar a utilizar nuestro medioambiente en lugar de abusar de él. En lugar del PIB, midamos el IMM (índice de madurez medioambiental). Más de un país rico que alardea de su PIB hipertrofiado se sorprenderá al encontrarse de los últimos en la lista del IMM.

Hay muchas maneras de ver el mundo. Esta corresponde a la visión de un ecologista.

Es imprescindible identificar las fronteras asimétricas para comprender cómo se mueve la energía entre ecosistemas. También puede ayudarnos a comprender cómo abusamos de los ecosistemas naturales, y también la desigualdad que existe entre los países industrializados y los demás. En la naturaleza no vemos abuso y desigualdad a esa escala. ¿Por qué? ¿No hay depredadores más poderosos que pueden transformar los ecosistemas como hacemos nosotros? ¿No hay especies con mayor impacto que otras, capaces de convertirse en dominantes a ambos lados de las fronteras, como los

humanos?

6

¿Son iguales todas las especies?

Robert T. Paine fue un gigante, y no solo porque medía más de un metro ochenta, sino por sus importantes aportaciones a la ciencia. Tras terminar la investigación de posdoctorado en el Instituto Scripps de Oceanografía, pasó a trabajar como docente en la Universidad de Washington, en Seattle. Conocí a Bob cuando yo también pasé a ser profesor en Scripps, en 1999. Me contó que un pequeño experimento había cambiado para siempre su vida... y la ciencia de la ecología.

Bob había tenido como profesor a Fred Smith en la Universidad de Michigan. Recordaba una clase en la que Smith señaló un árbol del campus universitario y preguntó a los estudiantes por qué era verde. La respuesta parecía sencilla: por la clorofila, el pigmento de las hojas que contribuye a extraer energía del sol. Sí, la clorofila da a las hojas ese color verde, pero ¿por qué hay hojas en el árbol? ¿Por qué no se las comen todas las orugas? ¡Tienen la despensa abarrotada! La respuesta de Smith, más sofisticada, era que el mundo es verde porque los herbívoros no consumen toda la materia vegetal, ya que los depredadores mantienen bajo control a los herbívoros. En resumen: las orugas no son tantas como podrían ser porque los pájaros se las comen. Esa idea se convertiría más adelante en la «hipótesis del mundo verde», e hizo que Bob analizara el papel de los depredadores en la configuración del medioambiente.

En 1963, Bob empezó su carrera como profesor en la Universidad de Washington, y buscaba un lugar donde estudiar el efecto de los depredadores sobre el hábitat en el que se encuentran. Descubrió la costa del Pacífico y su zona intermareal, la franja que baña la marea al subir y queda seca cuando baja. Es una frontera simétrica entre la tierra y el mar. Las criaturas marinas que allí habitan reciben un buen suministro de agua rica en nutrientes cada seis horas, pero el resto del tiempo tienen que emerger y sobrevivir fuera del agua. La frontera

entre la tierra y el mar viene y va con un ritmo constante. Vivir entre dos mundos tiene sus pros y sus contras.

Bob se dio cuenta de que la zona intermareal de Washington era muy rica y productiva, con gran cantidad de algas e invertebrados como anémonas, erizos de mar, lapas, percebes, mejillones, esponjas y una estrella de mar muy característica, la *Pisaster ochraceus*. La *P. ochraceus* es púrpura y anaranjada, con cinco brazos gruesos y curvos como los de un culturista. Bob decía que aquella comunidad ecológica era su nirvana. Como buen naturalista, se pasaba incontables horas sobre el terreno para familiarizarse con las especies que vivían allí y para observar quién se comía a quién. Daba la vuelta a las estrellas de mar y a los erizos para verles la boca, se fijaba en los percebes que los caracoles elegían como presas, veía cómo los mejillones abrían las conchas cuando llegaba la marea cargada de plancton.

Bob se concentró sobre todo en la red alimentaria de la bahía de Makah, a tres horas y media en coche al oeste de Seattle, donde encontró erizos de mar y lapas que se alimentaban de algas, caracoles que se alimentaban de percebes y *P. ochraceus* en la cúspide de la pirámide, ya que se alimentaba de mejillones y de casi todos los demás invertebrados. ¿Qué sucedería si eliminaba al máximo depredador? Bob se fijó en una estrella de mar, pensó un momento, la cogió y la lanzó a aguas más profundas. Ese momento iba a cambiar la vida de Bob, la ecología experimental y mi propia carrera.

Bob tiró otra estrella de mar a aguas profundas, luego una más, y otra, y así sucesivamente. Despobló un afloramiento de estrellas marinas de manera no destructiva, ya que podían vivir en aguas más profundas, pero dejó como estaban otras zonas para que le sirvieran de grupo de control. Así se lleva a cabo un experimento científico: hay que manipular los factores que queremos comprender en un tratamiento y mantener esos mismos factores inalterados en otro, para después comparar los resultados. En investigación científica esto recibe el nombre de ensayo controlado aleatorizado y es absolutamente imprescindible. Si manipulamos algo en la naturaleza y queremos conocer las consecuencias, tenemos que comparar los resultados con los que se obtienen sin manipulación. También hay que llevar a cabo estas manipulaciones en zonas diferentes, o unidades experimentales, con sus correspondientes unidades de control.

Bob se desplazaba hasta su zona de estudio para coincidir con la

marea baja estival, limpiaba la zona de *P. ochraceus*, tomaba nota de la abundancia de las diferentes especies en unidades experimentales y en las unidades de control, y volvía a Seattle. «No tardé ni medio año en darme cuenta de que había dado con una mina de oro ecológica», dijo. ¿Qué había sucedido?

En ausencia de las estrellas marinas, los mejillones no tenían depredador. Por lo tanto, estos ocuparon más espacio en la roca intermareal. Pero en esa roca ya había otras especies. Los mejillones tenían una ventaja competitiva (como el *Paramecium aurelia* en los tubos de ensayo de Gause, que acabó dominando al *P. caudatum*): eran capaces de tomar la delantera a otros organismos. Y así fue: crecieron más y asfixiaron al resto de las criaturas. Para unos seres que viven adheridos al fondo de su medioambiente y sobreviven filtrando el agua del mar, como es el caso de los mejillones, el espacio lo es todo. Y, en ausencia de depredadores, los mejillones ganaron la carrera por el espacio.

Menos de año y medio después de la eliminación de las *P. ochraceus*, la comunidad intermareal se redujo de quince especies diferentes a ocho. A los siete años, toda la zona intermareal se convirtió en un monocultivo: la única especie que quedaba allí eran los mejillones, que habían conseguido expulsar a todas las demás. Fue un resultado muy sorprendente: lo esperable era que al eliminar a la *P. ochraceus*, el depredador supremo, se incrementaría el número de todas las especies situadas por debajo de ella.

Bob quiso asegurarse de que la *P. ochraceus* era especial de verdad, y para eso eliminó de la comunidad a otras especies. Esto tuvo un efecto casi irrelevante. Como escribió George Orwell en *Rebelión en la granja*, «todos los animales son iguales, pero algunos animales son más iguales que otros». En términos ecológicos, esto quiere decir que no todas las especies causan el mismo impacto en la comunidad que habitan. El sencillo experimento de Bob demostró por primera vez que una sola especie, la *P. ochraceus*, es capaz de determinar la composición de toda una comunidad ecológica. Poco más adelante, Bob publicó uno de los artículos más importantes de la ciencia ecológica, en el que proponía el concepto de «especies clave» y demostraba que la *P. ochraceus* era una de ellas en el ecosistema intermareal que había estudiado.

En arquitectura, la clave de bóveda es la piedra que se pone en el

centro de una bóveda o un arco, en la parte superior, y lo mantiene en pie. Sin la clave de bóveda, toda la estructura se derrumba. Si eliminamos la *P. ochraceus*, acabamos con toda la estructura del ecosistema intermareal. Según la definición de Bob, las especies clave son las que afectan al ecosistema entero, no solo a las especies que les sirven de alimento. Y el impacto de las especies clave es desproporcionadamente superior a su abundancia: un depredador es la especie clave cuando tiene una abundancia relativamente baja, pero su efecto per cápita es altísimo. Son pocos, pero muy poderosos. Si sacamos esa especie del ecosistema, se produce un cambio drástico en la comunidad, que por lo general pasará a ser mucho más sencilla, con menos diversidad.

La mayoría de las especies clave que conocemos son depredadores de primer nivel, pero también hay especies que no están en la parte superior de la cadena alimentaria y sin embargo tienen una influencia enorme sobre el ecosistema. ¿Qué son y cómo pueden ayudarnos a comprender el impacto de la actividad humana sobre el mundo natural?

Paul Dayton, otro gigante de la ecología marina experimental en Estados Unidos, hizo la tesis doctoral bajo la supervisión de Bob Paine, y también se centró en el estudio de la zona intermareal de la costa del estado de Washington. Hasta sacó tiempo para poner en marcha un programa de buceo científico en la Antártida, en tiempos heroicos en los que sus compañeros y él sumaron quinientas zambullidas con trajes húmedos en aguas a –1,5 °C. ¡Hoy en día, para bucear en esas aguas, nos ponemos trajes secos y llevamos tres capas de ropa interior técnica!

Paul tenía el centro de operaciones en la Estación McMurdo, una de las primeras bases científicas dirigidas por Estados Unidos. Se consideró la posibilidad de que la presencia humana permanente, junto con la contaminación provocada por las actividades en la tierra, el hielo y las aguas de la zona, tuviera un efecto pernicioso sobre un ecosistema hasta el momento inmaculado. Como naturalista y ecologista de nivel, lo primero que hizo fue tratar de comprender la

organización de la comunidad ecológica en la bahía. No tardó en darse cuenta de que el estudio del efecto de la contaminación sobre cada especie por separado iba a llevar demasiado tiempo y a tener un coste excesivo. Tampoco era factible medir el efecto de los contaminantes en las interacciones de las especies de la comunidad, y menos en un medio donde los buzos no podían hacer inmersiones de más de media hora ni siquiera con trajes de neopreno: el agua estaba tan fría que provocaba un dolor insoportable. Tenía que buscar un atajo.

A Paul se le ocurrió identificar las especies que tenían una influencia desproporcionada en la estructura de la comunidad. Una vez identificadas, sería más fácil valorar en ellas los efectos de los contaminantes y otras alteraciones, y, por extensión, saber cómo estaban afectando al resto de la comunidad. Paul las denominó especies «fundadoras», distinguiéndolas con claridad de las especies clave. ¿Cuál es la diferencia? Un ejemplo excelente viene de las investigaciones posteriores de Paul.

Tras doctorarse en la Universidad de Washington, Paul empezó a trabajar en el Scripps, donde comenzó el estudio más largo que se ha hecho sobre los bosques de kelp gigantes. Las kelp gigantes son las secuoyas de los mares. Empiezan a crecer a poco menos de cuarenta metros de la superficie y alcanzan a salir del agua, y llegan a desarrollarse casi medio metro al día. Cada alga kelp está anclada al lecho marino mediante un entramado de rizoides en forma de cono, del que salen docenas de tallos o estipes. Las estipes tienen en el dorso unas vesículas del tamaño de aceitunas grandes llenas de aire que hacen las veces de flotadores y están rematadas por hojas anchas y planas. Las algas kelp gigantes siguen creciendo tras llegar a la superficie y crean sobre el agua un dosel que filtra los rayos del sol como las vidrieras de una catedral. Reconozco que siento debilidad por Paul y sus bosques de kelp: yo también las estudié bajo su supervisión nada más llegar al Scripps.

Las kelp gigantes conforman la arquitectura de toda una comunidad ecológica. Los intrincados rizoides dan cobijo a cientos de gusanos, crustáceos, esponjas y otras muchas criaturas. Las hojas están cubiertas de diminutos poliquetos y otros invertebrados. Por debajo del bosque de kelp gigantes crece un sotobosque de kelp más pequeñas, junto con las algas rojas, más carnosas y coralinas, donde

habitan erizos de mar, abalones y caracoles. Al igual que sucede con las aves en un bosque terrestre, los peces viven entre las kelp gigantes a diferentes profundidades: unos se especializan en devorar animalillos semejantes a gambas que se encuentran en las estipes; otros se alimentan de las algas del sotobosque; algunos, como la impresionante lubina negra, se comen al resto de los peces de la red alimentaria. Las kelp gigantes son la especie fundadora de toda esta comunidad: crean las condiciones necesarias para la diversidad y la abundancia de especies. Si quitamos las kelp, el resto de las especies desaparecen.

Por tanto, las especies fundadoras proporcionan una base estructural al ecosistema, un hábitat físico, mientras que las especies clave son las que lo mantienen vivo. Las especies clave pueden ser pocas y poderosas, con una influencia enorme sobre su ecosistema; en cambio, las especies fundadoras suelen ser muy numerosas y estar omnipresentes: basta con unas cuantas *P. ochraceus* (especie clave) para regular la estructura de su comunidad intermareal, mientras que hacen falta muchas algas kelp (especie fundadora) para crear un bosque y acoger a todas las especies.

La pregunta obvia es: ¿puede haber especies fundadoras y especies clave en el mismo ecosistema? ¿Qué impacto tienen las unas en las otras, y cuáles son las implicaciones para el ecosistema?

En los años sesenta, Bob Paine había observado que las charcas intermareales de la isla Tatoosh, en el estado de Washington, estaban llenas de erizos de mar que se habían comido todas las algas kelp. Era una clara violación de la hipótesis del mundo verde de Smith: allí los herbívoros habían acabado con todo el alimento vegetal. De modo que Bob hizo lo que le había dado resultado antes: sacó todos los erizos de unas charcas y dejó otras intactas como grupo de control. Los resultados fueron casi inmediatos. En las algas sin erizos, las algas kelp empezaron a crecer a gran velocidad. Pero seguía sin saber a qué se debía la abundancia natural de erizos.

Otro científico, Jim Estes, dio con la respuesta gracias a la serendipia y a la influencia de Bob. Jim es otro científico de gran altura en todos los sentidos, además de atractivo y poseedor de una voz amable. Se había concentrado en el estudio en Alaska de las nutrias marinas, los animalitos peludos más tiernos que existen. Jim y Bob se habían conocido en un bar (no es un chiste), y Jim le contó que

iba a llevar a cabo un estudio sobre la fisiología de las nutrias marinas desde la perspectiva del flujo de energía en el ecosistema de Alaska, desde el alga kelp hasta la cima de la red alimentaria, las nutrias marinas y otras especies más grandes, como las orcas. Tras escuchar a Jim, Bob le dijo que la idea no le resultaba interesante y le preguntó si se había planteado averiguar qué efecto tenían las nutrias sobre el sistema. Podía tratar de repetir el experimento de extracción de especies de Bob, pero ¿cómo se saca a las nutrias de un bosque de algas al tiempo que se las mantiene en otro?

A mediados del siglo XVIII se había iniciado en Alaska un lucrativo comercio de pieles de nutria que acabó con casi todos los especímenes de la zona. Pero unas cuantas lograron sobrevivir, y en 1911 se aprobaron leyes de protección que permitieron que la especie repoblara la costa de Alaska. En algunas islas, como Amchitka, que Jim conocía bien, la población de nutrias se había recuperado. En Amchitka abundaban los erizos de mar, pero eran muy pequeños, y las algas kelp también eran numerosas.

Sin embargo, un día, se sumergió para bucear junto a la isla Simiya, donde por motivos desconocidos la población de nutrias no se había recuperado. «El momento de aprendizaje más impactante de toda mi vida tuvo lugar en un segundo, cuando metí la cabeza bajo el agua en la costa de Simiya —contó Jim años más tarde—. Había un manto verde de erizos de mar y ni rastro de algas kelp.» El mundo submarino de Simiya se parecía a las charcas de Bob en Tatoosh: el herbívoro dominante, el erizo de mar, había acabado con su presa, el alga kelp. Y sin alga kelp, las demás especies también habían desaparecido, entre ellas las nutrias.

Los erizos de mar son uno de los alimentos favoritos de las nutrias, así que la ausencia de estas era la causa más probable de la abundancia de población de erizos. Jim había identificado a otro depredador clave: en aquella comunidad, la nutria comía erizos que comían algas kelp. La desaparición de las nutrias había tenido efectos indirectos en la red alimentaria, de los carnívoros a los herbívoros y a las plantas. Bob Paine había definido esos efectos como «cascadas tróficas», situaciones en que los depredadores controlan la estructura del ecosistema de arriba abajo.

Veinte años más tarde, a Jim le costaba dar con nutrias en Alaska. Su número estaba bajando sin explicación aparente. Había

alimento abundante, así que la causa no era el hambre. Tampoco se veían indicios de ninguna enfermedad. Pero un colega de Jim, Brian Hatfield, fue a verlo a Amchitka una tarde y le contó que había visto a una orca atacando a un grupo de nutrias. Jim no se lo terminó de creer. Las orcas, conocidas como «ballenas asesinas», son el depredador más temible del océano y devoran presas de gran tamaño, incluso ballenas, leones marinos de Steller y hasta al temido tiburón blanco. Su plato favorito son los animales grandes con una concentración elevada de grasa. ¿Para qué iban a comer caramelos, habiendo solomillos?

Pero Hatfield presenció otro ataque en el mismo sitio un día después. Al invierno siguiente, Tim Tinker, el técnico de Jim, también vio a las orcas devorar nutrias en la isla Adak.

La laguna Clam, en Alaska, era el entorno natural perfecto para otro experimento. La entrada a la bahía era muy estrecha, tanto como para que entraran y salieran las nutrias, pero no las orcas. Jim y sus colegas descubrieron un gran número de nutrias en la bahía, aunque también había muchas orcas en zonas cercanas: habían dado con otro depredador clave, una cascada trófica más larga y una historia extraordinaria de efectos indirectos, pero además, en este caso, pronto verían que el ser humano, en la cima de la red alimentaria, había provocado cambios inesperados que abarcaban décadas y ecosistemas enteros.

Alan Springer, de la Universidad de Alaska, en Fairbanks, formuló una hipótesis fascinante para explicar el fenómeno nutrias-orcas. Tras la Segunda Guerra Mundial, los balleneros japoneses y rusos habían empezado a matar ballenas a escala industrial. A finales de los años sesenta ya habían acabado con nueve de cada diez ballenas en el Pacífico norte. Las orcas, en cambio, al ser más pequeñas, carecían de valor, y la caza de ballenas no hizo que disminuyera su número. También había ciertas orcas que tenían como presa las ballenas grandes. La caza de ballenas grandes en las zonas próximas a las costas provocó una serie de cambios en cascada: esas orcas, al quedarse sin presas, tuvieron que acercarse más a las orillas y alimentarse de otras especies. Primero fueron las focas moteadas, más pequeñas que los leones marinos pero más ricas en grasa y, por tanto, en energía. Una vez reducida la población de focas moteadas, empezaron con los leones marinos, y cuando quedaron pocos leones

marinos, se centraron en las nutrias. A medida que se reducía el número de nutrias, las presas habituales de estas, los erizos de mar, se multiplicaron, devoraron las algas kelp y acabaron con ellas, con lo que desaparecieron de la zona todos los animales que habitan en un bosque de algas saludable. Como dijo Jim, «lo más importante fue el concepto de que algo que había comenzado a mediados del siglo XX muy lejos, en el Pacífico norte, la caza de ballenas, acabaría por afectar a los erizos de mar y a las algas kelp del ecosistema costero. Era increíble, casi ciencia ficción».

Cuando estudiaba en la Universidad de Barcelona, en los años ochenta, leí mucho acerca de los estudios de Bob Paine, Paul Dayton y Jim Estes. Me atraía enormemente la labor que estaban haciendo, que combinaba trabajo de campo con ecología teórica. Yo era muy aficionado al buceo y todo el tiempo que pasaba bajo el agua me parecía poco. Buena parte de mis inmersiones tuvieron lugar en la Costa Brava, en Cataluña, cuando cumplí dieciocho años (antes no era legal). Estaba acostumbrado a unas aguas claras, con peces escasos y pequeños, en un suelo oceánico muy despoblado por la población de erizos de mar, que devoraban las algas; más o menos lo que sucedía en la isla Simiya, en Alaska. Luego me sumergí por primera vez en la reserva marina de las islas Medas, en la frontera entre Francia y España, y allí estaba prohibida la pesca. Fue cuando vi lo mismo que Jim había visto en Simiya, pero al revés: en la reserva había muchos peces de gran tamaño y pocos erizos de mar, y en el lecho oceánico abundaban los bosquecillos de algas.

En aquel momento decidí el tema de mi tesis doctoral: iba a estudiar los efectos de la eliminación de los peces depredadores, y como lugar para los experimentos utilizaría la reserva marina y otras zonas cercanas protegidas. Mi plan era llevar a cabo extracciones experimentales para poner a prueba el impacto de los depredadores. Me pasé cientos de horas bajo el agua. Tomé muestras de los bosques de algas y de los cientos de criaturas diminutas que los habitaban, y las identifiqué bajo el microscopio, además de hacer un recuento. También conté durante las inmersiones el número de peces y erizos de

mar. Observé la alimentación de los peces e instalé jaulas de plástico rígido para que no tuvieran acceso a las presas y así controlar el factor de depredación. Me pasé horas observando lo que sucedía a mi alrededor, sin intervenir. Tras tres años de trabajo de campo, los datos reunidos contaron una historia muy parecida a la de mis héroes científicos: allí donde la pesca estaba prohibida, había muchos peces y la comunidad ecológica era floreciente. Había de todo: peces grandes y pequeños, algas y todas las especies de menor tamaño que habitan en el mismo ecosistema. También erizos de mar, pero no demasiados, y además se escondían. Pero en los entornos donde la pesca había reducido en exceso el número de peces, los erizos de mar habían proliferado y habían devorado los bosques de algas, dejando despoblado el lecho marino. Una cascada trófica en el Mediterráneo.

Descubrí que los depredadores no solo reducen la abundancia de su presa; también cambian el comportamiento de esta. En los bajíos rocosos del Mediterráneo, las estaciones tienen un impacto, igual que en tierra firme. Durante el invierno, la temperatura del agua baja hasta los 12 ˚C. Los días son más cortos y se reduce la cantidad de algas. Pero en primavera y en verano, a medida que se alargan los días y sube la temperatura del agua del mar, el ecosistema prospera. Las algas crecen deprisa; los pequeños bosques alcanzan los 30 centímetros de altura y en ocasiones hay más de cien tipos de algas en una zona del tamaño de un plato llano. En los meses más calurosos, las rocas de la reserva marina de las islas Medas lucían una especie de peluca, una generosa mata de algas marrones y rojas que las cubría casi por completo, con excepción del tercio inferior. Era como si en la peluquería les hubieran rapado la base. ¿A qué se debía aquel patrón?

Lo examiné con más atención y descubrí que los erizos de mar se habían refugiado entre las rocas y el lecho marino. Tal vez fueran los responsables. Durante el día, mientras los peces depredadores nadaban por los alrededores, los erizos de mar se escondían. ¿Qué pasaba de noche, mientras casi todos los peces descansaban? Solo había una manera de averiguarlo. Fui a bucear entre las rocas por la noche. Como ya me había imaginado, no había peces grandes, pero los erizos de la base de las rocas habían salido y se estaban alimentando de las algas, creando halos que se extendían casi un metro alrededor de las piedras. Un metro: la distancia que puede recorrer un erizo de mar por la noche antes de volver a esconderse durante el día. Estos halos se

han observado en otros ecosistemas, como los lechos de pastos marinos del Caribe, donde los erizos de mar devoran algas por la noche hasta formar un círculo en torno a los arrecifes donde se refugian de los depredadores durante el día.

Este patrón se repite por doquier: cuando hay depredadores, sus presas son menos abundantes y más cautelosas. Reina el miedo, pero la comunidad es más diversa. Si desaparecen los depredadores de la cúspide, el ecosistema se colapsa.

Los biólogos han detectado esto mismo en los bosques templados, donde los lobos hacen que los ciervos, su presa, pasen menos tiempo al descubierto para alimentarse, con lo que los bosques pueden desarrollarse. En las praderas, los saltamontes son más cautelosos y comen menos hierba cuando hay arañas, con lo que la hierba crece. En los arrecifes prístinos, aquellos que no están alterados por la actividad humana, como el Kingman, en las islas de la Línea, he visto muchos tiburones, pero pocas presas, que durante el día se esconden entre los corales. En los lagos, la perca atruchada controla la abundancia de peces pequeños de agua dulce que comen zooplancton; los peces pequeños pasan más tiempo escondiéndose de la perca, con lo que su presa, el zooplancton, se desarrolla, y a su vez controla la abundancia de fitoplancton, lo que hace que las aguas del lago sean transparentes y cristalinas. En los ecosistemas de todo el planeta nos encontramos con ejemplos muy parecidos.

La conclusión es inevitable: si queremos tener un mundo rico y diverso hay que conservar a los depredadores. Los depredadores clave tienen una importancia especial y, además, son frágiles. Su número es el más reducido, pero son las especies que causan un impacto más marcado en sus respectivas comunidades ecológicas. También suelen ser la primera especie que los seres humanos eliminan de los ecosistemas en los que entran: lobos, tiburones, nutrias marinas...

Sin embargo, las especies clave no son las únicas importantes. También están las especies fundadoras, que proporcionan la arquitectura para toda la comunidad. Suelen encontrarse en medio de la red alimentaria, pero su presencia puede ser vital. Por ejemplo, el erizo negro de púas largas (*Diadema antillarum*) que se encuentra en el Caribe.

Décadas de sobrepesca en el Caribe han reducido el número de peces grandes, entre ellos los peces loro grandes, que se alimentan de

algas, y los pejepuercos y los sargos, que se alimentan de *D. antillarum.*

A mediados de los ochenta, la abundancia de *D. antillarum* era increíble, con una densidad media de diez erizos por metro cuadrado en Jamaica. El *D. antillarum* devora algas con voracidad, de modo que los arrecifes de coral seguían dominados por los corales y gozaban de buena salud.

Pero entre 1983 y 1984, la población de *D. antillarum* sufrió una reducción drástica en todo el Caribe debido a una enfermedad no identificada. Los huracanes y el incremento de nutrientes procedentes de la agricultura y vertidos al agua provocaron la aparición de grandes floraciones de alga marrón en los arrecifes de coral. En el pasado, los peces loro o los cirujanos reales habrían controlado el exceso de algas, pero su desaparición solo dejaba un herbívoro, el *D. antillarum*, para mantener el delicado equilibrio del ecosistema. Con la desaparición del erizo de mar, las grandes algas marrones se quedaron sin depredador y crecieron hasta asfixiar los corales, con lo que se sellaba el destino de los arrecifes del Caribe.

La labor de ecólogos experimentales apasionados como Bob Paine, Paul Dayton y Jim Estes ha hecho que empecemos a comprender la importancia de unas pocas especies grandes y su función como especies clave o fundadoras. Lo malo es que no sabemos lo que hacen la mayoría. No es posible llevar a cabo miles de experimentos para determinar el impacto de cada especie en su comunidad. Lo que sí sabemos es lo que dijo Bob: «Hacer caso omiso de los efectos en cascada es un grave error».

Se podría decir que el papel de cada especie en su comunidad es su empleo ecológico. Por seguir con la analogía de la ciudad, en Nueva York hay miles de empleos diferentes, desde el alcalde hasta el pizzero, pasando por el peluquero de perros. Cada uno tiene un impacto diferente en la comunidad: es el equivalente urbano a lo que hacen las especies en sus comunidades. ¿Podemos vivir sin ciertas especies? Quizá, pero depende de su función. Si todos los peluqueros caninos de Nueva York desaparecieran de repente, algunas personas de los barrios ricos se llevarían un disgusto, pero la ciudad seguiría

funcionando. En cambio, si desaparecieran los basureros, habría enfermedades y disturbios sociales, y todo desembocaría en una catástrofe social.

Lo malo es que, en la naturaleza, no es tan sencillo determinar el valor de cada especie. Cualquiera puede ser esa discreta clave ecológica que mantiene en pie todo el ecosistema, la especie cuya desaparición provoca el colapso de la comunidad entera. Tal vez otra especie proporciona un servicio imprescindible para la supervivencia del ser humano, como esos insectos que, sin que nos demos cuenta, polinizan los árboles que dan la fruta que comemos.

Como dijo Bob Paine hace años, puede que todas las especies sean iguales, pero algunas son más iguales que otras. Y no sabemos cuáles. Lo que sí sabemos es que el ser humano lleva milenios eliminando a los depredadores de primer nivel del mundo natural. Eso ha simplificado nuestro mundo, porque los depredadores de primer nivel suelen ser los que cohesionan el ecosistema. Hasta hace relativamente poco no hemos sabido que los ecosistemas de la Tierra están interrelacionados de una manera que a veces parece mágica... porque lo es.

7

La biosfera

A bordo de la EEI se tarda 90 minutos en dar la vuelta al mundo. En ese breve lapso de tiempo, todo pasa ante nuestros ojos: desiertos, montañas, ríos, lagos, ciudades... No hay astronauta que haya vivido esta experiencia que no diga lo pequeño que se siente al contemplar desde arriba esta canica azul que se mueve por el vacío infinito. La atmósfera es una capa fina, apenas una neblina. Así de frágil es el mundo y la existencia en él. Los astronautas describen una sensación de asombro, de maravilla casi mística al comprender la insignificancia de nuestro mundo. También hablan del sentimiento de unidad. Las fronteras entre ecosistemas, que tan evidentes nos parecen sobre el terreno, desaparecen casi por completo. Lo mismo se puede decir de las fronteras entre países. Desde allí arriba son irrelevantes. Todos estamos conectados entre nosotros y con el mundo natural del que formamos parte. Los astronautas lo llaman «efecto perspectiva».

Los biólogos James Lovelock y Lynn Margulis nos propusieron ya en 1974 considerar la biosfera como si fuera un ser vivo individual. La «hipótesis Gaia», como la denominaron, sugiere que la biosfera se comporta como un superorganismo donde todo lo que vive está conectado, donde una parte del planeta actuará para compensar y regular los problemas de otras partes, como sucede en el cuerpo humano con los diferentes órganos que funcionan sincronizados. Por aquel entonces, muchos científicos y pensadores serios dijeron que Lovelock y Margulis estaban locos, pero lo cierto es que no se trataba de una idea novedosa: la sabiduría tradicional de muchas culturas ya consideraba que todo el mundo natural era un sistema interrelacionado e interdependiente. Desde entonces, el conocimiento científico ha ido descubriendo poco a poco lo que los pueblos indígenas aprendieron a lo largo de generaciones de experiencia y trato con el mundo natural, y lo que los astronautas han

experimentado al ver el planeta desde el espacio. Las interconexiones van de lo pequeño a lo grande, de lo local a lo global, y a mí nunca dejan de asombrarme. Basta con tirar de una palanca, con hacer un cambio minúsculo, para que las consecuencias sean impredecibles, sobre todo si están de por medio las especies clave.

Empecemos por lo pequeño, por las bacterias. Hay una bacteria llamada *Prochlorococcus* que mide una millonésima de milímetro. Es tan diminuta que no descubrimos su existencia hasta 1988, pero a la vez es una de las criaturas más abundantes del planeta. En una sola gota de agua de mar viven 20.000 bacterias de este tipo. El *Prochlorococcus* sobrevive utilizando la luz del sol en las zonas menos profundas del océano para transformar en energía el CO_2 y los nutrientes del agua, y en el proceso liberan oxígeno. Es semejante a lo que hacen las plantas en tierra firme: la fotosíntesis. Pero las plantas terrestres, los bosques y las praderas solo producen la mitad del oxígeno que respiramos. La otra mitad del oxígeno del planeta viene del océano, de las algas que hay en las orillas, de las plantas microscópicas de las aguas y de microbios como el *Prochlorococcus*. Una bacteria diminuta cuya existencia desconocíamos hace treinta años, junto con otras criaturas marinas de las que la mayoría de los seres humanos no han oído hablar jamás, nos proporcionan el oxígeno para una de cada dos veces que respiramos. Estos microbios son los más pequeños y, a la vez, de los más importantes: son una especie fundadora del planeta, la base de la vida tal como la conocemos. Pequeños, pero con superpoderes.

Las ballenas barbadas, como el rorcual o la ballena azul, se alimentan de criaturas diminutas como el krill o los pececillos que habitan en las aguas menos profundas. Las ballenas dentadas, como el cachalote que todos conocemos por *Moby Dick*, se pueden comer a los calamares gigantes de las profundidades oceánicas. Los pescadores, y también algunos científicos pagados por la industria pesquera, aseguran que las ballenas consumen una cantidad excesiva de peces y krill, y que hay que matar ballenas para que quede más pescado para los seres humanos. Son afirmaciones de un descaro absoluto sobre todo en el océano Antártico, donde los barcos japoneses siguen matando ballenas. Pero la cosa no es tan sencilla. El descenso en el número de ballenas no ha llevado a un aumento en el de krill y peces. Todo lo contrario: al diezmarse la población de ballenas se ha

diezmado también la cantidad de krill. ¿Por qué?

Las ballenas consumen cantidades asombrosas de krill y peces pequeños, cuyos tejidos contienen grandes cantidades de hierro. Las ballenas absorben parte de ese hierro, pero liberan una buena cantidad a través de las heces cuando salen a la superficie a respirar. El fitoplancton del océano necesita este mineral para sintetizar la clorofila, el pigmento verde que absorbe la luz del sol durante la fotosíntesis. El hierro no se disuelve bien en el agua del mar, así que muchas zonas del océano carecen de él. Por tanto, las heces con alto contenido en hierro de las ballenas fertilizan las aguas menos profundas y fomentan el crecimiento del fitoplancton, provocando florecimientos verdes en las aguas. El krill se alimenta de este fitoplancton tan abundante y también incrementa su número. Los peces se comen el krill y crecen en número, y así sucesivamente: pingüinos, focas, ballenas, orcas...

Pero la cosa no termina ahí. Las ballenas se alimentan a menudo en las profundidades. Los cachalotes cazan calamares a más de un kilómetro por debajo de la superficie. Los ascensos y descensos de las ballenas mezclan las aguas profundas con las superficiales y contribuyen a transportar más nutrientes de las zonas bajas hacia arriba. De hecho, un estudio ha calculado que los animales marinos provocan esta mezcla al mismo nivel que las mareas y el viento combinados. Sin la actividad depredadora y la mezcla de aguas que causan las ballenas, buena parte del krill moriría y se hundiría, con lo que las aguas superficiales perderían sus nutrientes y se empobrecerían.

En conclusión, la observación científica nos ha demostrado que las ballenas no reducen la cantidad de sus presas en el océano. Su actividad contribuye a crear más fitoplancton, más krill y más peces. Si las ballenas desaparecen, no habría vida en las aguas más cercanas a la orilla, así que la cuestión que nos deberíamos plantear es: ¿cuántos peces más tendríamos si no hubiéramos matado a tantas ballenas?

De la red alimentaria del océano a la tierra firme: he aquí otro

ejemplo de interdependencia que la naturaleza nos está revelando. Cuando paseamos por un bosque vemos árboles, pero no lo que hace que existan esos árboles y el resto de las plantas. «En muchos aspectos, el suelo que pisamos nos es tan desconocido como un planeta lejano», se decía en el editorial de la revista científica *Science*, en un número especial de 2004 dedicado a la tierra como elemento. «Los procesos que tienen lugar en unos pocos centímetros superficiales del planeta son la base de toda la vida en tierra firme, pero la opacidad de esta tierra hace que nos resulte muy difícil comprender cómo funciona.» ¿Es una afirmación exagerada? Como vamos a ver, no.

Una tierra sana contiene una red alimentaria compleja, de múltiples niveles, autoorganizada de una manera tan intrincada como la red alimentaria de la superficie, con una diversidad extraordinaria y un impacto enorme sobre la vida. En un puñado de tierra sana hay un billón de bacterias, 10.000 protozoos (criaturas unicelulares, como las amebas), 10.000 nematelmintos y 25 kilómetros de finísimos filamentos fúngicos, además de organismos más grandes que vemos a simple vista, como lombrices o insectos. En esta comunidad ecológica subterránea, las interdependencias e interacciones son asombrosas.

En el suelo del bosque, los insectos desmenuzan los restos orgánicos (hojas muertas, madera podrida, cadáveres de aves o roedores, por ejemplo), con lo que facilitan la labor de descomposición que llevan a cabo las abundantes bacterias de la tierra y, a la vez, aportan a la mezcla la nutrición de sus heces. Las bacterias beneficiosas se apoderan de todo e impiden que entren los patógenos, con lo que, en cierto modo, proporcionan a las plantas un cuidado preventivo. Los nematelmintos y los protozoos se alimentan de las bacterias y expulsan nitrógeno que nutre la tierra. Las lombrices crean microtúneles que permiten oxigenar el suelo y también depositan heces que lo fertilizan. La acción combinada de estos seres, junto con los kilómetros de filamentos fúngicos, forma una red compleja que proporciona a la tierra su estructura, contribuye a retener el agua y a proteger las plantas de los patógenos. Diversos experimentos han demostrado que este ecosistema es imprescindible para las plantas. Las semillas que caen en el suelo natural de un pinar, enriquecido con hongos y microbios, crecen bien. En cambio, en un suelo esterilizado no sobreviven.

Los hongos subterráneos deben de estar entre los organismos más

minusvalorados de la Tierra. Nos encantan las trufas y pagamos una barbaridad por ellas, pero en el suelo hay otros hongos que desempeñan una misión mucho más importante: sientan la base de un sistema global de interconexiones ecológicas. Las raíces de las plantas y los hongos colaboran en una relación simbiótica vital para el planeta: estamos hablando de la *micorriza*, palabra derivada del griego y que significa, literalmente, «raíz de la seta». Alrededor de un 80 por ciento de las plantas del mundo dependen de la micorriza. El micelio, los diminutos filamentos fúngicos de una sexagésima parte del tamaño de una raíz, se introducen en los huecos más inverosímiles y tienen acceso a nutrientes como fósforo y nitrógeno, que necesitan las plantas más cercanas. A través de la micorriza, esta red interdependiente de hongos y raíces de plantas, los hongos aportan nutrientes a las plantas y estas les proporcionan los azúcares que producen.

Además, los hongos generan una proteína pegajosa, la glomalina, que da cohesión al suelo y le aporta su color pardo. Los jardineros y agricultores conocen bien la sensación táctil de esta tierra sana, granular. La glomalina contiene un tercio de todo el carbono de las tierras, así que estos hongos diminutos que no valoramos son vitales para secuestrar y retener buena parte de la contaminación por carbono de la atmósfera. Lo malo es que estamos tratando las tierras como si fueran de usar y tirar, sin comprender que son una red muy compleja de seres vivos. La agricultura industrial las contamina con fertilizantes (un exceso de nutrientes, buena parte de los cuales acaban en el océano y crean zonas muertas) y pesticidas que acaban con las bacterias, los hongos y los invertebrados que las hacen productivas de manera natural. Si cambiáramos estas prácticas, el efecto se dejaría sentir en todo el mundo. Un estudio reciente indica que un cambio a nivel global hacia una agricultura regenerativa, unas prácticas que tengan como objetivo producir y restaurar la vida a las tierras, conseguirían secuestrar la mayor parte del exceso de CO_2 de la atmósfera.

El extraordinario ecosistema de las tierras nos proporciona plantas, árboles, bosques. Y esto solo para empezar.

Suzanne Simard se crio en los bosques de la Columbia Británica. Solía tumbarse para contemplar las majestuosas copas de los árboles que se alzaban hacia el cielo. En una hermosa charla TED que ya lleva más de cuatro millones de reproducciones, su breve experiencia como guarda forestal le mostró el despiadado camino de destrucción de los bosques primigenios, de manera que volvió a estudiar para aprender sobre los propios árboles. Había oído hablar de un experimento de laboratorio que apuntaba a que la raíz de un pino, en un semillero, era capaz de transmitir carbono a otra raíz de pino. Pensó que tal vez lo mismo estuviera sucediendo en la naturaleza, y decidió llevar a cabo un experimento para demostrarlo. Los organismos de financiación no consideraron que la idea tuviera mucho futuro, así que tuvo que coger prestado de la universidad equipo muy sofisticado, gas de carbono radiactivo y delicado instrumental de laboratorio, y combinarlo todo con materiales cotidianos como bolsas de plástico, cinta adhesiva ancha y tela para toldos que compró en unos grandes almacenes.

Simard delimitó una parcela al aire libre donde plantó tres tipos de árboles: abedul papirífero, abeto de Douglas y tuya gigante. Formó ochenta grupos de los tres árboles, uno de cada especie. Envolvió algunos especímenes en bolsas de plástico transparente, a las que inyectó con diferentes isótopos de carbono elementos químicos con marcadores de manera que se pudieran detectar en los tejidos de una planta. Las bolsas de los abedules las inyectó con CO_2 hecho de carbono-14, un isótopo inestable que sufre desintegración radiactiva. Y las bolsas de los abedules las inyectó con CO_2 hecho de carbono-13, un isótopo estable.

Una hora después, Simard pasó un contador geiger por las hojas de las plantas. Los abedules provocaron el típico sonido chisporroteante que emite un contador geiger en presencia de radiactividad, lo que indicaba que los árboles habían absorbido el CO_2 radiactivo mediante la fotosíntesis. Luego repitió la operación con los abetos. ¡Eureka! El contador geiger también chisporroteó, lo que indicaba que el carbono radiactivo había pasado de una planta a la otra. Las plantas estaban aisladas, cada una en su bolsa, así que el carbono solo podía haber pasado de los abedules a los abetos por vía subterránea, a través de las raíces.

Gracias a los marcadores isotópicos, Simard detectó que el carbono se había transmitido en ambos sentidos, de los abedules a los

abetos y viceversa. Pero el carbono no se intercambiaba entre especies de manera caprichosa. Seguía un método. Los árboles se estaban ayudando entre ellos. Un abedul, en su bolsa de plástico, enviaba carbono a un abeto cercano que se encontraba a la sombra, bajo el toldo. Simard vio que, durante el verano, los abedules adultos plantados al sol ayudaban a los abetos de la sombra, pero en otoño, cuando el abedul perdía las hojas y el abeto, en cambio, conservaba sus agujas verdes, este último enviaba nutrientes al primero. La clave de esta increíble comunicación subterránea es la micorriza, mediante la cual el micelio fúngico conecta los diferentes árboles del bosque. Aunque parezca increíble, los abedules y los abetos se comunicaron, pero no conectaron con los cedros, que debían de estar en una red diferente.

Los hallazgos de Simard cambiaron para siempre nuestra manera de ver los bosques y demostraron que los árboles no son seres vivos que se limitan a competir por la luz y los nutrientes: también cooperan. Y eso no es todo. Algunos árboles se comportan como ejes, como árboles madre, y desempeñan una función más importante que otros en el bosque. Son otro tipo de especie fundadora. Los árboles madre pueden estar conectados a cientos de otros árboles. Cuidan de los retoños que crecen a su sombra. Los experimentos de Simard demostraron que los retoños que reciben carbono de un árbol madre tienen tres o cuatro veces más posibilidades de sobrevivir que los que crecen de manera independiente. Una pregunta llevó a otra, y Simard realizó otro experimento para comprobar si los árboles madre reconocían a los suyos, a los que se desarrollaban a partir de sus propias semillas. Plantó retoños de abetos de Douglas junto a su árbol madre y los resultados confirmaron lo que había intuido: los árboles madre ajustaron el crecimiento de las raíces para dejar espacio a sus descendientes, con lo que los ayudaron a desarrollar un entramado de micorriza más amplio, además de enviarles más carbono que a los retoños de otros árboles madre. Por si fuera poco, los árboles madre heridos o moribundos envían señales de defensa a su red, con lo que los árboles jóvenes tendrán una mayor resistencia a agresiones futuras.

Árboles que hablan entre ellos, que se alimentan unos a otros, que se comunican... Es como el ecosistema de Pandora en *Avatar*. ¿Ciencia ficción? Pues no. Tomemos algo de perspectiva. Tenemos bosques fuertes, con gran capacidad de recuperación, que dependen de un ecosistema complejo, la tierra en la que crecen. ¿Adónde nos lleva esto?

El pueblo yanomami, en la cuenca amazónica, cree que los árboles nativos de los bosques naturales llaman a la lluvia; en cambio, los árboles de las plantaciones, no. Hay quien dirá que no es más que una leyenda, ¡cómo van a llamar los árboles a la lluvia! Pero la ciencia demuestra que esta leyenda tiene algo de verdad.

Los árboles amazónicos absorben agua de la tierra y la llevan hasta las hojas; parte de esta agua se libera a la atmósfera mediante el proceso de evapotranspiración. Esa enorme cantidad de vapor de agua se condensa sobre la vasta selva amazónica y vuelve a caer en forma de lluvia; hace bajar la presión atmosférica, lo que a su vez atrae el aire denso y húmedo procedente del océano Atlántico. Este proceso crea lo que podríamos llamar un río en el cielo, una gigantesca cinta transportadora mediante la cual la selva genera su propia lluvia, que a la vez riega la selva. Según cálculos de los expertos, en este río del cielo hay más agua que en el Amazonas, que es el río más grande del planeta. ¿Qué pensamos ahora de la sabiduría tradicional de los yanomami?

Pero la cosa no acaba ahí. Las nubes que la selva ha creado y que penden sobre ella liberan su carga al chocar con la barrera montañosa de los Andes. La lluvia erosiona la roca de las montañas, que contiene hierro y sílice, material del que se compone la mayor parte de la arena de las playas. Este material acaba por llegar hasta la orilla del mar. El fitoplancton, diatomeas semejantes a las que provocan los florecimientos en la migración de la sardina de Sudáfrica, absorbe el sílice que acaba en el Atlántico para hacer su esqueleto: vistos bajo el microscopio, son como jaulas de cristal, ovaladas o redondas. Las diatomeas, igual que otros tipos de fitoplancton, producen una cantidad enorme de oxígeno. Cuando mueren, se hunden en el lecho oceánico, donde, pasado el tiempo y bajo la presión de billones de esqueletos semejantes acumulados a lo largo de los milenios, se convierten en la roca sedimentaria que conocemos como arenisca. Con el tiempo (tiempo geológico, millones de años), el fondo del mar

emergerá y será un desierto de granos de arena compuestos de sílice de antiguas diatomeas.

Sin embargo, esa no es toda la historia. Las tormentas de arena del Sahara transportan un polvo cargado de nutrientes (como hierro y sílice) hacia el Atlántico, y no es raro que crucen sus 8.000 kilómetros. El polvo se posa sobre la selva amazónica y la fertiliza. Puede que haya tardado millones de años, pero el bosque está cosechando parte de lo que sembró.

Así es como los pequeños héroes ecológicos, las bacterias y los hongos de la tierra, contribuyen al crecimiento de los árboles; los árboles forman bosques que llaman a la lluvia, y la lluvia influye sobre el clima en todo el mundo; el clima erosiona las montañas más altas para que las algas microscópicas del océano puedan crear la arena que, en unos millones de años, se convertirá en un desierto, que a su vez contribuirá a fertilizar la vida microscópica del suelo forestal. Puede que Gaia no sea un simple mito.

En nuestra biosfera, los ecosistemas complejos se conectan para formar uno. Y en casi todos estos ecosistemas está incrustado el cuerpo humano.

Nuestro cuerpo tiene unos treinta billones de células. No hay tantas estrellas en la galaxia. A mí me cuesta abarcar el concepto. Aún más asombroso es el hecho de que ese mismo cuerpo transporta un número semejante de microbios. Treinta billones de microbios que viven, sobre todo, en los intestinos y la piel. ¿Qué hacen todas estas criaturas?

Empecemos por la leche materna. Contiene moléculas muy complejas, los oligosacáridos, que los bebés recién nacidos no pueden digerir porque carecen de las enzimas necesarias. Pero los últimos avances en la tecnología médica han demostrado que estos azúcares complejos no son para el bebé, sino para una bacteria de su tracto intestinal llamada *Bifidobacterium infantis*. Cuando esta bacteria se alimenta bien, prolifera y ocupa el espacio intestinal, con lo que evita la aparición de microbios perjudiciales. Además, al digerir estos azúcares complejos, *B. infantis* segrega ácidos grasos que alimentan las

células intestinales. Por último, *B. infantis* contribuye a mantener la integridad del revestimiento protector de los intestinos del bebé, y lo protegen de inflamación e infecciones.

Buena parte de las bacterias intestinales nos llegan durante el parto, pero otras proceden del polvo o de las mascotas. Los estudios más recientes demuestran que los niños de familias que tienen un perro, o que pasan más tiempo jugando al aire libre, presentan menos casos de asma y alergias respiratorias. Las bacterias proceden también del intercambio entre personas: cuando nos movemos y respiramos, estamos lanzándolas al aire, a razón de unos treinta y siete millones por hora. La exposición a bacterias beneficiosas contribuye a la salud general, sobre todo la del sistema inmune. Una vez en nuestro organismo, los genes bacterianos entran en nuestro propio ADN mediante un proceso conocido como transferencia horizontal genética. De hecho, a lo largo de la evolución humana han entrado en nuestro ADN más de 145 genes bacterianos. En la actualidad, el uso habitual de antibióticos ha reducido la diversidad y abundancia de microbios naturales en cada persona, y se ha descubierto que esto conlleva consecuencias negativas, como altas tasas de obesidad y diabetes tipo 2.

Las bacterias intestinales contribuyen a la salud del cuerpo y la mente. Tienen una misión importante en la síntesis de hormonas, enzimas, vitaminas y moléculas que influyen en el sistema inmune. Algunas moléculas contribuyen a regular el estrés y hasta pueden influir en nuestro temperamento. Parece una locura, ¿no? ¿Los microbios intestinales afectan al humor? De nuevo, la experimentación ha probado esta hipótesis; para empezar, en ratas de laboratorio como requisito antes de pasar a ensayos clínicos con seres humanos. Se tomaron muestras de heces —que contienen microbios intestinales vivos— de personas con depresión y de personas sin ella, y se trasplantaron a ratas. Las ratas que recibieron los microbios intestinales de personas con depresión mostraron cambios de comportamiento y metabolismo propios de esta enfermedad, como reducción en la actividad social y aislamiento físico, mientras que las ratas del grupo de control siguieron como siempre. Estos experimentos demuestran que la depresión puede deberse a una disminución en la riqueza y la diversidad de especies en el ecosistema microbiano intestinal. Esas bacterias pueden afectar a nuestro comportamiento y

alterar el desarrollo, el funcionamiento y el comportamiento del cerebro.

El mundo en que vivimos es una muñeca rusa ecológica: ecosistemas dentro de ecosistemas dentro del ecosistema más grande, la biosfera, un sistema global autorregulado de especies interconectadas e interdependientes a todos los niveles. Desde la EEI es fácil ver la Tierra como un sistema único. La interdependencia de toda la vida en el planeta es más evidente desde esa perspectiva que desde aquí, sobre el terreno. Pero es esencial para el futuro que el ser humano experimente ese efecto trascendente y empiece a tratar la biosfera como a un ser vivo, en lugar de actuar como si no existiera o directamente agredirla. Nuestro impacto sobre la biosfera es abrumador. ¿Por qué? ¿Qué clase de especie clave es el ser humano?

8

¿En qué nos diferenciamos?

En mayo de 2019 me sumergí en las aguas del Atolón del Milenio, también conocido como Isla Caroline, una ristra de islas coralinas distribuidas formando una especie de plátano de 14 kilómetros de largo. En cuanto se despejaron las burbujas me vi rodeado por una docena de tiburones grises. No, no me asusté. Me alegré mucho. La presencia de tiburones grises denota un ecosistema marino saludable.

Gracias a nuestro proyecto Pristine Seas de National Geographic, hemos explorado muchos atolones coralinos, tanto habitados como deshabitados, e islas de todo el Pacífico. A algunos de estos puntos se tarda cinco días en llegar desde el lugar habitado más próximo. No hay ecosistema más prístino: allí no vive nadie, y nadie pesca en los arrecifes. Tomamos medidas de la biomasa de peces en cada una de estas islas, desde los más pequeños hasta los más grandes, desde los que apenas tienen unos centímetros hasta los tiburones. Y vemos que, en todos los casos, los depredadores de alto nivel constituyen la mayor parte de la biomasa. En la cúspide de la sucesión ecológica, los tiburones han llegado a su abundancia máxima: en los arrecifes de coral maduros, prístinos, impera el miedo; los depredadores son los reyes y las presas tienen buen cuidado de no llamar demasiado la atención.

Sin las alteraciones provocadas por la intervención humana, los depredadores controlan la abundancia de las presas, pero no acaban con ellas por completo. Depredador y presa, comedor y comida, coexisten como han hecho desde hace millones de años. De lo contrario, uno de los dos ya no existiría, o quizá no existiría ninguno. Como sucede en el caso del lince canadiense y la liebre, la población de depredadores y presas es oscilante: si el depredador hace que baje demasiado el número de presas, el número de depredadores se reduce, con lo que el número de presas sube, y así sucesivamente.

Pero la explotación humana de las especies suele cambiar este modelo: cuando nos convertimos en depredadores, la abundancia de la presa se reduce, a menudo hasta el punto de la extinción, mientras que la población humana se sigue incrementando. La última vez que se avistó una foca fraile del Caribe fue en 1952, al sur de Jamaica. La última paloma migratoria se llamaba *Martha* y murió en 1914 en el zoo de Cincinnati, cuando antes las bandadas de miles de millones ocultaban los cielos de Estados Unidos. Estas especies han desaparecido para siempre, igual que otras muchas, y ya solo nos queda observar los especímenes secos, embalsamados o en los tarros de las colecciones de los museos.

Sin embargo, el ser humano también provoca la extinción ecológica de las especies. Es decir, no las elimina por completo de la faz de la Tierra, sino que reduce su número hasta tal punto que ya no pueden llevar a cabo su función ecológica. En otras palabras, se convierten en ecológicamente irrelevantes. Es el caso, por ejemplo, de la foca fraile del Mediterráneo, de la que quedan menos de quinientos ejemplares en todo el mar, y un mejillón de agua dulce, el *Unio foucauldianus*, del que se calcula que quedan entre cien y quinientos ejemplares en el sur de Marruecos. La foca fraile del Mediterráneo ya no puede ser el depredador de alto nivel que era, igual que el mejillón de agua dulce no puede filtrar tanta agua como hacía antes. La extinción ecológica es el paso previo a la extinción global.

El hecho es que el ser humano está provocando la extinción de especies a una velocidad como mínimo mil veces superior a la natural. Entre nosotros y las especies salvajes no existe una oscilación como la que se produce entre el lince y la liebre. ¿Por qué? ¿No estamos sometidos a los mismos procesos que el resto de los seres que viven en el planeta?

Durante una conferencia científica, mi amigo Boris Worm, profesor alemán de ecología marina que da clase en la Universidad de Dalhousie, en Canadá, le planteó la siguiente pregunta a Bob Paine:

—Si la nutria y la estrella de mar *Pisaster* son especies clave en el noroeste del Pacífico, ¿qué somos nosotros?

A lo que Bob respondió:

—Somos depredadores hiperclave.

Boris y Bob acordaron escribir juntos un artículo acerca de este concepto. Repasaron toda la bibliografía científica al respecto y

descubrieron que el ser humano explota a los herbívoros terrestres, sobre todo a los ungulados artiodáctilos, aquellos cuyas extremidades terminan en un número par de dedos, como el jabalí, el pécari, el hipopótamo, la llama, el ciervo, la jirafa, el antílope, el borrego cimarrón o la cabra salvaje, a un nivel similar al de los demás depredadores. Pero lo que nos distingue de esos otros depredadores es que explotamos a los carnívoros terrestres y a los depredadores de alto nivel, como los lobos, los linces, los leones o los tigres, a una velocidad entre cuatro y diez veces superior a la de otras especies. Peor aún: la explotación de las presas del océano se lleva a cabo a un ritmo entre once y quince veces superior que el de otras especies. No importa en qué nivel de la red alimentaria se encuentren esas especies marinas: el ser humano las mata a todas, desde la humilde sardina hasta el poderoso tiburón blanco, a una velocidad altísima en comparación con la del resto de sus depredadores.

De las especies que diezmamos, algunas son clave, con lo que causamos un impacto que repercute en cascada en ecosistemas enteros. Nos encontramos en la cima de la red alimentaria global que afecta a prácticamente todas las especies de la Tierra (menos a los microbios, que viven a mayor profundidad). Al eliminar especies clave en la cima de todas las redes alimentarias, estamos destruyendo los ecosistemas del planeta. El crecimiento de estos ecosistemas es asimétrico: la estructura y la información se acumulan a lo largo de siglos, incluso de milenios, en una progresión lenta hacia la madurez... y ya hemos visto que toda esa información se puede perder en cuestión de horas.

La Biblioteca de Alejandría era el almacén del conocimiento del mundo antiguo. Los estudiosos y filósofos tardaron siglos en acumular todo ese saber. Hace unos dos mil años, la biblioteca ardió en pocas horas, y con ella desapareció la mayor parte del conocimiento de los científicos y filósofos de la Antigüedad, que nunca se recuperó. Puede que hayamos redescubierto parte de lo que quedó entre las cenizas, pero cuesta imaginar cómo sería el mundo actual si hubiéramos conservado aquellos conocimientos.

Lo mismo se aplica a los ecosistemas naturales. En una selva tropical de Borneo viven decenas de miles de especies de plantas y animales en una red muy compleja de interdependencias. Una corporación tarda pocas horas en enviar excavadoras que convierten

esa selva en un monocultivo de aceite de palma. Toda la información genética, toda la complejidad barroca de la naturaleza, los millones de interacciones entre especies desaparecen para siempre junto con los servicios que nos prestan. Esa pérdida de información repercutirá a lo largo de las generaciones, tanto si nos damos cuenta como si no. Igual que sucedió con la Biblioteca de Alejandría.

En tierra firme, la principal causa de la pérdida de biodiversidad es la destrucción del hábitat (mientras que en el océano es la pesca, la cacería a mayor escala del planeta). Hemos transformado la mitad de la tierra del planeta para alimentarnos o para construir las ciudades donde vivimos. La agricultura y la ganadería han cambiado la mitad de la tierra habitable y consumen el 75 por ciento del agua potable. En Estados Unidos, el 41 por ciento de la tierra de los cuarenta y ocho estados meridionales se destina a la cría de ganado. Estas operaciones son ejemplos abrumadores de la destrucción del hábitat. Cuando se tala una selva tropical de Indonesia o Malasia para plantar palmas, o se convierte una pradera virgen del Medio Oeste estadounidense en decenas de miles de acres de pastos o maizales, la pérdida de biodiversidad es catastrófica. Como ya vimos antes, la sucesión ecológica lleva mucho tiempo y requiere una serie de pasos porque la energía que se acumula en la primera etapa se invierte en facilitar el desarrollo de la siguiente. La naturaleza protege la sucesión ecológica; en cambio, los seres humanos somos responsables de la regresión de los ecosistemas.

Por si fuera poco, ya no nos limitamos a acabar con especies enteras de manera directa, con la caza y la destrucción de los hábitats, sino que también lo hacemos de manera más indirecta. Un ejemplo claro es el envenenamiento.

La caza ballenera estuvo a punto de llevar a la extinción a las ballenas grandes en el siglo xx, y obligó a las orcas a acercarse a las orillas y alimentarse de leones marinos y nutrias. Pero ahora las orcas son víctimas de otro largo tentáculo de la influencia humana sobre el océano. Un estudio reciente apunta a que la mitad de la población de orcas del mundo desaparecerá entre 2050 y 2060 por culpa de los productos tóxicos que se prohibieron hace treinta años. Los policlorobifenilos (PCB) son compuestos químicos que se utilizaban para elaborar pinturas, refrigerantes y condensadores. A mediados de los setenta se descubrió que eran cancerígenos para los seres humanos,

de modo que los Gobiernos los prohibieron. Pero los PCB aún nos acompañan en productos antiguos, por ejemplo, en algunos transformadores, y también en la pintura de muchos barcos. Los PCB tienen una vida larga. Se descomponen despacio y así entran en el medioambiente, donde pasan a la red alimentaria que consumen los animales pequeños. Las orcas están en la cima de esa red alimentaria, justo debajo de nuestro trono supremo; consumen muchas presas contaminadas y acumulan PCB en la grasa, y son de los animales más contaminados del planeta hoy en día. Los PCB han dañado de manera irreparable su sistema inmune y su capacidad reproductiva. A las nutrias marinas ya les va bien, pero la red alimentaria del Pacífico noroeste será menos compleja y saludable por el declive de la población de orcas.

La contaminación acústica es otra forma de influencia indirecta que el ser humano ejerce sobre el mundo natural. Desde el estruendo ensordecedor en una estación de metro o en un aeropuerto hasta el zumbido constante de la ciudad que se oye a kilómetros de distancia, es casi imposible dar con un lugar donde disfrutar de los sonidos de la naturaleza, o de algo parecido al silencio. Un estudio reciente ha demostrado que no podemos escapar del ruido ni siquiera en los parques nacionales o en las reservas naturales. En el 63 por ciento de las unidades de zona protegida que hay en Estados Unidos, el nivel de ruido de fondo se duplica debido a los sonidos de origen humano. En el 21 por ciento de las zonas protegidas, el ruido de fondo humano era diez o más veces superior al ruido de fondo natural. Estos niveles exceden unos límites más allá de los cuales se producen alteraciones significativas en la vida salvaje.

En octubre de 2014, durante una de las expediciones de Pristine Seas, estuve buceando bajo una plataforma petrolífera junto a la costa de Gabón. Los pilones de la plataforma constituían el único sustrato duro sobre el lodo del lecho oceánico, así que se habían convertido en una especie de arrecife artificial, cubiertos de esponjas, algas y corales de copa naranja. En las cercanías de la plataforma está prohibida la pesca, así que abundaban los peces, desde pequeñas damiselas hasta pargos y atunes grandes. Pero el momento más memorable de aquella inmersión fue cuando oí algo diferente: la canción de las sirenas del océano, las ballenas jorobadas. Este canto sobrecogedor e hipnótico se oye a decenas de kilómetros de distancia.

Lo único negativo fue el zumbido continuo, el chasquido y el traqueteo de la extracción petrolífera. Supuso una molestia constante durante toda la inmersión. Y no solo para mí: los mamíferos marinos también se están volviendo locos con el ruido de las plataformas, los barcos, las pruebas sísmicas y otros sonidos producidos por los humanos. Las voladuras sísmicas a presión son lo peor: hay barcos especializados que provocan explosiones de aire para localizar yacimientos de gas y petróleo en el lecho oceánico. Provocan un ruido muy alto cada diez segundos durante días y días, a veces meses. Este ruido viaja más de tres mil kilómetros bajo el agua y causa daños irreparables en los órganos auditivos de los delfines y las ballenas, que dependen del sonido para alimentarse y comunicarse. La ballena azul, el animal más grande del planeta, emite una canción de baja frecuencia que también se puede oír a miles de kilómetros bajo el agua. Pero la canción de la ballena azul, igual que la llamada de la sirena jorobada, no mata a nadie.

Los sonidos humanos son harina de otro costal.

La pregunta sigue en pie: ¿en qué nos diferenciamos? ¿Qué ha permitido que los humanos se conviertan en el depredador clave supremo de la Tierra, el depredador hiperclave, como nos llamaba Bob Paine?

Los antropólogos responden, con toda la razón, que la complejidad de nuestro cerebro ha permitido que los humanos desarrollen el lenguaje y cacen en grupo. Pero los mamíferos marinos también lo hacen. Las ballenas jorobadas comen krill y peces pequeños en las aguas menos profundas del océano: su sistema es nadar de costado, o con un movimiento ascendente hacia la superficie, con la boca abierta, con lo que capturan casi veinte mil litros de agua con todo su contenido. Pero las presas a menudo están dispersas, y ahí entra en juego el trabajo en equipo. Unas cuantas ballenas rodean la zona de las presas al tiempo que resoplan, con lo que se crea una cortina circular de burbujas que espanta a la presa y hace que huya hacia el centro. Así, las ballenas solo tienen que hender la superficie con la boca abierta y engullir una enorme cantidad de presas de un

solo trago. Trabajo en equipo en estado puro. De la misma manera, los lobos cazan ciervos en manada en el parque nacional de Yellowstone, los leones cazan cebras en el Serengueti y los leones marinos se agrupan para atrapar al atún claro en las aguas bajas de las islas Galápagos.

¿Tal vez se explique la diferencia en nuestra capacidad para fabricar herramientas? Durante mucho tiempo se pensó que el ser humano era el único animal que utilizaba herramientas. Construimos lanzas para cazar animales más grandes que nosotros, arados para trabajar la tierra y plantar cosechas controladas, redes para atrapar muchos peces a la vez... Esos apéndices han permitido al ser humano matar más y producir más de todo lo que necesitaba.

Sin embargo, hay otros animales que utilizan herramientas. Es bien sabido que Jane Goodall descubrió que los chimpancés usan ramas para atrapar termitas en Tanzania, y los investigadores han detectado un comportamiento similar en los chimpancés de otros países africanos. Charles Darwin ya había señalado en 1871, en *El origen del hombre*, que los chimpancés cascaban nueces con una piedra, que los orangutanes usaban palos a modo de palanca y que los babuinos tiraban piedras a los babuinos de otras especies. Las nutrias marinas comen erizos de mar tras abrirlos con una piedra. Los delfines de la bahía de los Tiburones, en Australia, se protegen el hocico con esponjas marinas mientras buscan alimento en el lecho oceánico. Los cuervos de Nueva Caledonia se valen de ramas, palos y a veces hasta de alambres para atrapar y pinchar larvas que llevarse a la boca. Hay muchos más ejemplos de animales que utilizan herramientas aparte del ser humano. La diferencia es que ellos no llevan a otras especies a la extinción. Nosotros, sí.

Unos cuantos humanos con pulgares oponibles y herramientas modernas no sembrarían el caos a escala planetaria, pero el rápido crecimiento de la población ha llevado nuestra influencia mucho más allá de lo que iría ese impacto individual. Por ejemplo, los chinos comen una cantidad de pescado relativamente pequeña, y además consumen especies que están en la zona baja de la red alimentaria. Por tanto, se puede afirmar que China tiene uno de los impactos per cápita más bajos del mundo sobre la población de peces. Pero ese impacto per cápita hay que multiplicarlo por 1.400 millones, la población de China, y de repente pasa a ser el país con un efecto más marcado

sobre la población de peces del océano.

La naturaleza nos muestra muchos ejemplos de alternancia entre depredadores y presas, la dinámica lince-liebre que vimos antes, pero esa pauta desaparece cuando interviene el ser humano. ¿Por qué no desciende nuestro número cuando se reduce la disponibilidad de presas? Para ahondar en este tema tenemos que hablar de la energía.

Casi todos los ecosistemas naturales tienen un crecimiento limitado por la energía del sol y la disponibilidad de recursos, es decir, de nutrientes. La superficie de la Tierra recibe al día 120.000 teravatios de energía solar, o lo que es lo mismo, 175 vatios por metro cuadrado. Esas cifras no nos dicen gran cosa a los que no somos expertos en energía, pero se pueden plantear de otra manera: cada hora y media, el sol envía a la superficie terrestre suficiente energía para hacer funcionar la civilización humana durante un año. La energía del Sol que interceptamos en treinta días es equivalente a todos los combustibles fósiles del mundo juntos, los que ya hemos quemado y los que aún quedan por extraer de las reservas subterráneas del planeta.

Las plantas aprovechan esa energía solar con máquinas naturales diminutas, el motor molecular que hay en los cloroplastos microscópicos de las hojas y que lleva a cabo la fotosíntesis. Combinan la luz del sol con agua, CO_2 y nutrientes para generar carbohidratos, la materia orgánica que proporciona alimento y estructura tridimensional a la base de todo ecosistema.

Las plantas producen materia orgánica a un ritmo medio de 0,21 vatios por metro cuadrado; o sea, por lo general solo utilizan un 0,13 por ciento de la energía solar que llega a ellas, aunque algunas alcanzan el 4 por ciento. Su utilización de la energía solar no es muy eficiente, pero producen suficiente para alimentar todo el envoltorio viviente del planeta, la biosfera.

El peso de una persona es el resultado de las calorías que ingiere menos las calorías que quema cada día; de la misma manera, la biomasa total del ecosistema terrestre dependerá de qué cantidad de biomasa vegetal se consuma menos la cantidad que se respire, es decir, la que se queme en actividades como el crecimiento y el desarrollo celular. En el caso de una red alimentaria de múltiples niveles, la biomasa vegetal determinará la cantidad de biomasa de herbívoros que puede haber; la biomasa de herbívoros determinará la

biomasa de carnívoros, y toda la biomasa animal determinará la biomasa de depredadores de alto nivel. El peso de una persona depende en parte de la comida que tenga en la cocina, y la biomasa total del ecosistema dependerá de la biomasa vegetal accesible. Los depredadores de alto nivel no pueden desarrollar una biomasa que no se pueda mantener con el alimento disponible.

Pero este cálculo falla cuando se aplica al ser humano. Volvemos de nuevo a la pregunta: ¿por qué los humanos no siguen las mismas normas que otros depredadores y presas? ¿Por qué estamos acabando con las demás especies mientras nuestra población se incrementa sin cesar? Y la respuesta es: porque hemos dado con la manera de librarnos de las limitaciones diarias de los ecosistemas no humanos. En otras palabras, no solo utilizamos la energía del presente, la que nos llega de manera cotidiana con los rayos del sol, sino que también empleamos la energía del pasado.

El profesor Ramón Margalef, padre de la ecología española y poeta entre científicos, ya en los años setenta escribió de manera objetiva sobre el impacto humano. Solo coincidí con él en sus últimos años de vida académica, cuando estudié Biología en la Universidad de Barcelona a finales de los ochenta. El profesor había conservado la costumbre de ir casi a diario a su pequeño despacho sin ventanas en el Departamento de Ecología que él mismo había fundado en 1967. Era alto y solía vestir camisa y corbata bajo un jersey con cuello de pico y una chaqueta. Era de porte amable, en su rostro se dibujaba una sonrisa permanente, como de otros tiempos, y siempre llamaba a sus colegas «doctor tal y cual». A él todos lo llamábamos «doctor Margalef». Tuve el privilegio de escuchar unas pocas conferencias que dio.

A principios de los noventa, mientras hacía el doctorado sobre la recuperación del ecosistema en la reserva marina de las islas Medas, advertí que fuera de la reserva había pocos peces, y muy pequeños. Estaba empezando a ser consciente del alcance del poder destructor del ser humano, y me quedé desconcertado, así que fui a ver a Margalef a su despacho (el profesor siempre tenía tiempo para los estudiantes) y le pregunté qué nos había convertido en un depredador tan poderoso. Su sonrisa se acentuó aún más y respondió: «La necrosfera».

La palabra *necrosfera* viene del griego *nekrós*, que significa

«muerte». La biosfera es la capa viviente del planeta. La necrosfera es la capa muerta. Se compone de todo aquello que estuvo vivo y ya no lo está: las hojas que caen en otoño y cubren el suelo del bosque, o la ballena que muere y se hunde en las profundidades del mar. La necrosfera reciente es un limbo constante: los carroñeros, los hongos y los animales que se alimentan de desechos reciclan enseguida la materia muerta. Las coloridas hojas otoñales que caen en el bosque se consumen de inmediato y todos sus componentes vuelven a la red alimentaria o red trófica. La hormiga que desmenuza la hoja será devorada por un pajarillo que a su vez será presa de una comadreja que caerá víctima de un zorro. Lo que no vuelva de inmediato a la red alimentaria lo reutilizarán los gusanos y los hongos para enriquecer la tierra de la que se nutren los árboles.

En el mar, un grupo de orcas puede matar a una ballena gris y comerse solo la lengua, que por lo visto les parece una exquisitez, y luego abandonar el cadáver. Los tiburones hambrientos darán unos cuantos mordiscos más al cuerpo muerto, que se acabará por hundir en el lecho oceánico. En las profundidades, donde escasean los nutrientes, la carcasa de la ballena albergará su propia sucesión ecológica: primero llegarán los carroñeros móviles, como los tiburones de las profundidades, los peces rata o los mixinos, atraídos por el olor, que consumirán la carne igual que hacen los leones o los buitres con una cebra muerta. Esta primera etapa en la sucesión de la caída de la ballena puede durar meses. Cuando toda la carne ha pasado a engordar a los carroñeros grandes de las profundidades, llega el turno de los animales más pequeños: gusanos, moluscos y crustáceos, que aprovecharán la grasa que quede, incluida la que se haya filtrado en el lodo alrededor de la ballena. Esta fase puede durar un par de años. Al final solo quedará el esqueleto. Los gusanos devoradores de huesos, con la ayuda de las bacterias, descompondrán las grasas y aceites del interior de la estructura ósea. En este proceso generarán azufre, que a su vez atraerá a otros tipos de bacterias y animales filtradores, como los mejillones. Pocas décadas más tarde, de la ballena no quedará más que una mancha clara en la oscuridad del lecho marino, y hasta esta parte de la necrosfera acabará reciclada, absorbida, formando parte de la biosfera otra vez.

Tanto en la tierra como en el mar, estos ejemplos muestran la diferencia esencial entre los ecosistemas artificiales y los demás: las

otras especies no producen ni acumulan desperdicios. Todo se reutiliza, se recicla. El mundo natural es una economía circular perfecta donde todo es fuente de algo diferente, incluso tras la muerte.

Hay una parte de la necrosfera que no se descompone y, por tanto, no vuelve a ser parte de los organismos vivos. Es lo que podríamos llamar la necrosfera antigua. Su característica más llamativa es que se compone de organismos que quedaron enterrados muy en el fondo del océano o en turberas casi nada más morir, con lo que las otras especies no tuvieron acceso a ellos. Con el tiempo, los sedimentos se han seguido acumulando, con lo que la materia muerta queda a una profundidad cada vez mayor. El altísimo calor y la presión sobre estos organismos muertos acaba por transformarlos en carbón, gas natural o petróleo, lo que hoy conocemos como combustibles fósiles. Los combustibles fósiles son energía procedente del pasado, cuando fueron luz del sol, y ahora hacen funcionar nuestra sociedad. Otras formas de vida utilizan la necrosfera, pero solo el ser humano ha aprendido a explotar la antigua.

Para el ser humano, la necrosfera antigua es la clave que nos libera de las cadenas del presente y nos permite escapar del ciclo alternante de depredadores y presas. Hacemos trampa. Utilizamos la energía del pasado para subvencionar la sobreexplotación del presente. Ese subsidio de energía nos permite construir ecosistemas artificiales (ciudades) que consumen más energía de la que producen, incluyendo los alimentos. No hay otra especie que haga eso. Si hubiéramos seguido utilizando la energía solar diaria como fuente principal de energía, a través de la biomasa vegetal y la red alimentaria natural, la población humana no habría alcanzado la cifra de 7.500 millones de la actualidad, y el crecimiento continúa. El mundo sería diferente. Quiero dejar muy claro que no estoy juzgando ni idealizando lo que habría sido un camino diferente. Me limito a señalar un hecho.

Lo cierto es que nos comportamos como si tuviéramos más de un planeta Tierra. El Global Footprint Network, un laboratorio de ideas, ha calculado que en 2019 ya habíamos consumido la producción

anual entera de la Tierra el día 29 de julio. Nunca antes nos habíamos adelantado tanto. Por decirlo con otras palabras: en ocho meses, consumimos el presupuesto completo de la Tierra para todo el año. ¿Qué hicimos los cuatro meses restantes? Vivir de los ahorros, con ayuda de la energía de la antigua necrosfera. No hace falta ser economista para saber lo que pasa con los ahorros cuando sacamos dinero de la cuenta en vez de vivir de los intereses. Podemos utilizar en exceso los recursos de la Tierra gracias en buena parte a que tiramos de la energía solar del pasado acumulada en forma de combustibles fósiles. Estamos utilizando la energía del pasado para subvencionar el saqueo del presente.

Al quemar la necrosfera, no solo hemos reducido la biodiversidad a escala global; además, hemos lanzado a nuestra frágil atmósfera una cantidad excesiva de carbono. El CO_2 y otros gases de efecto invernadero emitidos por la actividad humana se han acumulado hasta niveles peligrosos, lo que ha provocado el ascenso de temperatura del aire y el agua del mar más rápido jamás registrado en la Tierra. En diciembre de 2015, los países del mundo acordaron en París reducir las emisiones para que la temperatura global no superara 2 ˚C como media (a ser posible, 1,5 ˚C) con respecto a la de tiempos preindustriales. Pero el Acuerdo de París sobre el cambio climático fracasará si seguimos diezmando la biodiversidad a escala planetaria, como veremos más adelante.

Hay muchas cosas que distinguen al ser humano del resto de los depredadores de alto nivel: una inteligencia superior, la destreza, la capacidad para trabajar en equipo o el lenguaje, entre otros muchos más. Pero la razón principal de que seamos hiperdepredadores es que hemos aprendido a explotar la antigua necrosfera. ¿Eso supone un problema? Hay quien dice que nunca hemos tenido tanta riqueza y salud, que la economía mundial sigue creciendo. Entonces ¿qué hay de malo en eso? ¿De verdad necesitamos tanta diversidad biológica? ¿No es más importante que crezca el PIB?

9

La diversidad es deseable

En diciembre de 2002 tuvo lugar en el Instituto Scripps de Oceanografía una conferencia, patrocinada por la Fundación Sloan, titulada «Lo que sabemos, lo que no sabemos y lo que nunca sabremos sobre la biodiversidad marina». Uno de los objetivos era valorar esta biodiversidad y el precio de no saber cuántas especies hay y cuál es su función en la naturaleza. A lo largo de las dos primeras jornadas, los científicos, uno tras otro, debatieron sobre dos filosofías contrapuestas: unos decían que lo más importante era aprender cosas nuevas, mientras que otros querían descubrir maneras de utilizar lo que ya sabemos para invertir el proceso de pérdida de biodiversidad en los mares. La tensión resultó muy frustrante para algunos participantes, poco acostumbrados a pensar en lo incognoscible, pero no creo que hubiera en aquel auditorio con capacidad para doscientos asistentes persona más frustrada que Natasha Loder, periodista de *The Economist*, que al final se levantó para intervenir: «Llevo aquí sentada dos días, oyéndoles decir que la biodiversidad marina es muy importante, que hay que llevar a cabo más estudios [...] pero nadie ha dicho por qué es importante esa biodiversidad. Quiero volver a mi ordenador y escribir un artículo para la revista, pero no me lo están poniendo fácil».

Yo estaba sentado junto a Boris Worm, que para entonces ya había realizado algunos de los estudios más importantes sobre conservación de los mares, unas pocas filas por delante de Loder. Nos miramos el uno al otro. «Esto es ridículo —dijimos—. Hay que dar con una respuesta clara y definitiva para esa pregunta.»

Boris y yo decidimos ponernos en marcha lo antes posible. Solicitamos una subvención al Centro Nacional de Análisis y Síntesis Ecológico (NCEAS, por sus siglas en inglés), una institución maravillosa que depende de la Universidad de California, en Santa

Bárbara. El NCEAS es como la hierba gatera para los ecologistas. Si aceptan la solicitud, recibes fondos para llevar a cabo una serie de talleres con los colegas que elijas, tras invitarlos a discutir y analizar el tema que hayas escogido, y a trabajar juntos para llevar a cabo una síntesis de tus ideas. Los grupos de trabajo suelen tener una duración media de dos años y el resultado final es la publicación de un artículo científico de la máxima importancia. Pues resulta que el NCEAS aceptó nuestra solicitud, así que reunimos un grupo de ecologistas marinos, casi todos jóvenes, casi todos buenos amigos nuestros, y pusimos manos a la obra.

Las reuniones del NCEAS son muy divertidas. El grupo de científicos apasionados se reúne durante tres o cuatro días un par de veces al año. La rutina cotidiana consistía en presentaciones y discusiones de nueve a doce de la mañana. Luego íbamos a comer y volvíamos a la sala de conferencias a la una y media. A las cinco, con el cerebro lleno de ideas, nos íbamos al pub James Joyce, donde bebíamos Guinness y hablábamos de cualquier cosa, desde arte hasta fútbol, pasando por arrecifes de coral, hasta las seis y media, cuando íbamos a cenar a un restaurante cercano. Tras la cena, regresábamos al hotel y nos íbamos a la cama felices después de haber alimentado la mente y el alma durante todo el día. Tras cada reunión, todos volvíamos a casa con una misión: compilar estudios experimentales sobre el funcionamiento del ecosistema, analizar datos globales de pesca o pensar en cómo presentar la información, todo para responder a la pregunta de Loder: ¿por qué es tan importante la biodiversidad marina? O, por ponerlo en su perspectiva, ¿qué importancia tiene la biodiversidad marina para el ser humano?

Ya sabíamos que el océano produce la mitad del oxígeno de la atmósfera, que los arrecifes de coral y los manglares protegen las orillas de los efectos destructivos de las olas provocadas por los temporales, que el océano nos proporciona alimento y demás. De esos detalles nadie dudaba. Pero hasta entonces nadie había calculado la importancia de la biodiversidad marina en todos estos beneficios para el ser humano. Por tanto, la pregunta estaba clara: ¿una mayor biodiversidad conduce a un incremento de los beneficios? Y, por el contrario, ¿la pérdida de biodiversidad provoca la pérdida de beneficios?

Nos pusimos de acuerdo en una definición de biodiversidad, pero también teníamos que acordar qué medida de biodiversidad íbamos a utilizar. La biodiversidad es la variedad de vida en el planeta, e incluye diferencias genéticas entre especies. Un buen ejemplo son los perros domésticos; sí, todos los perros, del chihuahua a los perros pastor, pertenecen a la misma especie. Puede referirse a las diferencias entre especies, como perros y gatos, por ejemplo. Y, por último, puede referirse a diferencias entre ecosistemas, como un pinar comparado con un humedal. La biodiversidad no es un concepto que se cuantifique con facilidad, como la temperatura o la distancia, sino que tiene múltiples dimensiones y, por tanto, se puede medir de maneras diferentes.

La medida de biodiversidad que se utiliza con más frecuencia es la riqueza de especies, que no quiere decir más que el número de especies que encontramos en un lugar. Pero esa medida, por sí sola, no nos dice nada sobre la salud del ecosistema. Por ejemplo, por un lado tenemos un arrecife de coral prístino y, por otro, uno con sobrepesca. En el prístino puede haber docenas de tiburones grises, mientras que en el que ha sufrido la sobrepesca tal vez solo quede uno. En términos de riqueza de especies, «tiburones de arrecife» cuenta igual en los dos casos. Un punto para cada uno. Así que podríamos obtener la misma medida de riqueza de especies en arrecifes muy diferentes, muy alejados en la escala de madurez.

Los ecologistas han desarrollado un sistema mejor para medir la variedad de vida en un ecosistema: el concepto de diversidad, o ecodiversidad. La diversidad mide la distribución de especies dentro de un ecosistema. Utiliza el número de individuos o la biomasa de una especie para representar la abundancia relativa de esa especie en el ecosistema. En otras palabras, un cálculo de la diversidad tiene en cuenta los niveles del número de las especies en un lugar concreto.

Ahí van un par de ejemplos: un museo de historia natural, o el arca de Noé, obtendrían una puntuación altísima en la escala de diversidad, ya que son los únicos lugares donde todas las especies tienen una representación equitativa: dos individuos por especie, macho y hembra. Sin embargo, en la naturaleza, un ecosistema así no

funcionaría jamás. Imaginemos a Nueva York con solo dos médicos, dos enfermeros, dos profesores, dos taxistas, dos pizzeros, dos basureros, dos peluqueros caninos y así sucesivamente. La ciudad se colapsaría. Pues, de la misma manera, un arrecife de coral necesita diferentes abundancias de las distintas especies de corales, gusanos, esponjas o peces. La distribución de abundancias dependerá del tipo de ecosistema, del número de especies que haya en él, de su madurez y de la productividad del hábitat, entre otros factores. Como norma general, un ecosistema más maduro contendrá más especies y, por lo tanto, tendrá mayor diversidad.

Hay otras maneras de medir la biodiversidad, como las diferentes funciones que cumplen las especies en un ecosistema (depredador, creador de hábitat o descomponedor, por ejemplo) o el grado de simetría en las fronteras entre ecosistemas (como el robledal que se convertía en pinar en la ladera de la montaña en Córcega). Esta complejidad de unidades y escalas hace imposible calcular la biodiversidad con una sola manera de medir. También puede resultar confuso para la gente, ¡incluso para los expertos en biodiversidad! Pero los miembros de nuestro grupo de trabajo del NCEAS creíamos firmemente que, mientras tuviéramos claro lo que estábamos midiendo y cuál era el objetivo, podíamos dar respuesta a las preguntas importantes sobre el valor de la biodiversidad marina.

No obstante, fue una sorpresa descubrir lo poco que se sabía sobre estos aspectos del océano. Recopilamos los estudios publicados sobre experimentos locales, observaciones por zonas y datos de pesca a nivel mundial. Repasamos de manera sistemática todas las publicaciones científicas entre 1960 y 2005 sobre experimentos marinos o estuarinos que medían cualquier indicador de biodiversidad. Por ejemplo, tres científicos estadounidenses habían llevado a cabo un experimento en la reserva nacional de investigación del estuario del río Tijuana, muy cerca de la frontera con México. Su objetivo era averiguar dónde era mayor la biomasa, en una marisma con más especies o en otra con menos. Delimitaron parcelas con cero, una, tres o seis especies de plantas y las observaron a lo largo de tres años. Sus experimentos demostraron que las parcelas con más especies acumulaban más biomasa vegetal y más nitrógeno, que es un nutriente clave. Las parcelas con seis especies tenían casi el doble de biomasa vegetal que aquellas con solo una. Y la cosa no terminaba

ahí: las parcelas con más biomasa vegetal tenían estructuras tridimensionales más complejas, más microhábitats para invertebrados, más alimento para las aves y los peces... En otras palabras, a mayor número de especies de plantas en la marisma, mayor cantidad de todo lo demás. En otras zonas los experimentos demostraron que las zonas con más biodiversidad a todos los niveles, desde el número de especies hasta la diversidad genética pasando por el número de funciones ecológicas, eran más estables y resistentes, y contaban con una mayor capacidad para resistir las alteraciones y recuperarse después. Otros experimentos pusieron a prueba la influencia de la biodiversidad en la dieta, y llegaron a la conclusión de que las dietas más diversas mejoraban la fecundidad, el crecimiento, la supervivencia y la transmisión vertical de la energía en la red alimentaria. En resumen, cuanto mayor es la biodiversidad en un ecosistema, cuanta más diversidad de funciones sostiene, mejor y más eficiente es su funcionamiento.

Teníamos que comprobar si estos resultados a pequeña escala se podían trasladar a otra dimensión y a otro momento, de modo que recopilamos datos sobre ecosistemas costeros y estuarinos, así como de otras fuentes. Conseguimos información de doce regiones de Europa, América del Norte y Australia, así como un gradiente del impacto humano, incluyendo zonas donde la biodiversidad había quedado diezmada, se había colapsado o directamente se había extinguido, así como de otras donde se había recuperado. Comparamos lugares en diferentes puntos del gradiente y vimos que las zonas costeras y estuarinas con más biodiversidad contaban con una mejor industria pesquera y proporcionaban un hábitat más saludable para la cría de muchas especies, entre ellas los pescados comerciales. Por si fuera poco, una mayor biodiversidad provocaba que ciertos invertebrados, como los mejillones, las ostras y las esponjas, pudieran filtrar mucha más agua y mejorar la salud del ecosistema. Por el contrario, los lugares que habían perdido buena parte de la biodiversidad original sufrían muchos más florecimientos dañinos de algas y muertes masivas de peces, con el consiguiente cierre de playas y prohibiciones de pesca que han llegado a durar treinta y cinco años. Las zonas con una biodiversidad reducida también sufren diez veces más invasiones de especies y el riesgo constante de inundaciones costeras, porque han perdido la

«infraestructura natural», como los humedales, que retienen enormes cantidades de agua.

Luego pasamos a una escala superior y analizamos tendencias globales en la pesca. Para ello utilizamos las estadísticas nacionales de pesca desde 1950. Cada país informa de sus capturas a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), pero la calidad de los datos que aportan varía mucho. Por ejemplo, los datos de la pesca industrial se consiguen con más facilidad que los de la pesca artesanal, a pequeña escala. Es habitual que los países declaren menos capturas de las reales. Mi amigo Daniel Pauly, reconocido profesor en la Universidad de Columbia Británica, consciente de este hecho, llevó a cabo una labor monumental para «reconstruir» los datos de las capturas. Daniel y sus colegas, con la colaboración de todo un ejército de investigadores locales, consiguieron datos no declarados de industrias pesqueras, sobre todo de las más pequeñas, y con ellos revisaron los informes. Las estadísticas de la FAO indicaban que las capturas marinas a nivel global se habían ido incrementando sin cesar desde 1950 hasta 1996, cuando tocaron techo con 86 millones de toneladas métricas, antes de iniciar un leve descenso. Pero los datos reconstruidos de Daniel contradecían el paradigma: las capturas globales habían tocado techo en 1996, pero con 130 millones de toneladas métricas, y desde entonces el descenso ha sido más abrupto. Nunca se ha vuelto a pescar tanto como hace veinticuatro años.

Estudiamos el número de pesquerías que habían cerrado desde 1950 debido al decrecimiento de las especies comerciales cuya abundancia había caído por debajo del 10 por ciento original. En 2003 ya se había perdido un tercio de la población de peces comerciales. Tal como predecían los datos a escala inferior, este colapso era mucho más frecuente en ecosistemas con menos especies, mientras que la captura media y la velocidad de la recuperación eran más altas en los ecosistemas ricos en especies. Dicho de otra manera: a igual nivel de capturas, un ecosistema marino pobre en especies se degradará antes que un ecosistema rico.

Al concluir el trabajo, nuestro equipo creía haber cumplido el objetivo. Habíamos planteado una pregunta, ¿por qué nos beneficia la biodiversidad marina?, y habíamos tratado de responder empleando la información disponible. Habíamos estudiado toda la bibliografía

científica en busca de cualquier relación entre biodiversidad y beneficios y prestaciones del ecosistema. Buscamos pautas en diferentes zonas con distintos grados de riqueza de especies y confirmamos que estas pautas se repetían a diferentes niveles de biodiversidad.

Los resultados eran claros. A mayor biodiversidad, más beneficios nos proporciona un ecosistema marino: pesquerías más productivas y duraderas, protección contra inundaciones, aguas costeras más limpias, menor incidencia de enfermedades causadas por pescado y marisco contaminados, y muchas otras más. Por tanto, cuando la actividad humana reduce la biodiversidad, reduce también los beneficios que nos proporciona el océano. A nosotros nos parecía evidente, pero por fin habíamos conseguido pruebas que lo demostraban para aquellos que no contaban con nuestros años de experiencia sobre el terreno.

Quedaba una pregunta importante por responder: ¿es posible recuperar los beneficios que proporcionaba un ecosistema diezmado? Para preservar esos beneficios no hay nada como proteger un lugar prístino, pero no estaba tan claro que fuera posible revivir un ecosistema degradado y volver a contar con los servicios que proporcionó en el pasado. La respuesta a esa pregunta marcaría la diferencia entre la esperanza y la desesperación.

Varios estudios independientes demuestran que las reservas marinas protegidas, donde la pesca está prohibida, tienen una biomasa de peces seis veces superior de media y un 21 por ciento más de especies que las zonas cercanas no protegidas. Además, los peces son un tercio más grandes. En resumen: proteger las aguas del mar incrementa la biodiversidad en esas zonas.

Nuestro análisis demostró también que la recuperación de biodiversidad en las reservas marinas contribuía a mejorar la pesquería en los alrededores. Cerca de las zonas que estudiamos, las capturas de los pescadores, a igual inversión de trabajo, eran cuatro veces superiores. Los ingresos gracias al turismo también se incrementaron de manera significativa. Los aficionados al buceo

quieren ver peces, no aguas desiertas, así que prefieren ir a las reservas marinas. Llegamos a la conclusión de que aún es posible recuperar la biodiversidad perdida, y esta recuperación tendrá como resultado más productividad y estabilidad, lo que a su vez repercutirá en mejores capturas en las cercanías de las reservas y un ingreso adicional gracias al turismo dentro de ellas.

Todo ello representa un paso adelante: podemos devolver la salud a un ecosistema diezmado. Pero ¿qué pasa si llevamos la diversidad a un extremo? ¿Qué sucede con ecosistemas transformados de manera brutal, como los campos de producción agrícola masiva que nos alimentan a nosotros y a nuestro ganado? ¿Es posible recuperar la biodiversidad en esos casos? ¿Y serviría de algo hacerlo?

En 1998, un equipo internacional de científicos dirigido por Zhu Youyong, de la Universidad Agrícola de China, puso en marcha un estudio ambicioso para responder a una pregunta muy sencilla: la diversidad en variedades de arroz, ¿puede proteger de las enfermedades la cosecha? El arroz es vulnerable a un hongo que provoca el llamado tizón o cuello podrido. Este hongo mata la punta de la planta justo cuando empieza a florecer y antes de que produzca el grano. La provincia de Yunnan era el lugar ideal para el experimento, porque el clima frío y húmedo favorece las epidemias de este hongo. Zhu y sus colegas contaron con la ayuda de miles de agricultores de Yunnan.

Las variedades glutinosas tienen un precio superior en el mercado, pero son más susceptibles a esta enfermedad. Las variedades de arroz no glutinoso lo son menos, así que en el momento del experimento el 98 por ciento de la zona era un monocultivo: hileras e hileras de una o dos variedades híbridas de arroz no glutinoso.

Para realizar el experimento se plantaron unos campos con un monocultivo de la variedad glutinosa, otros con un monocultivo de arroz híbrido, y otros con una mezcla de ambos, siguiendo un modelo que ya utilizaban algunos granjeros para obtener al menos un mínimo de arroz glutinoso destinado al mercado local: una hilera de arroz glutinoso flanqueada por dos hileras de arroz híbrido a cada lado.

Los resultados fueron muy claros: el 20 por ciento del arroz glutinoso en los campos con monocultivo sufrió la enfermedad del tizón, que en cambio solo afectó a un 1 por ciento de las plantas de arroz glutinoso en los campos mixtos. Más aún: la producción de grano de arroz glutinoso en los campos mixtos fue, como media, un 89 por ciento más alta que en los monocultivos. Una vez considerados todos los factores, la conclusión fue que las poblaciones mixtas producían más grano por hectárea que los monocultivos. Otra prueba de los beneficios que nos proporciona la biodiversidad.

En la ciencia no siempre es fácil responder a las preguntas, ni siquiera a las que parecen tan sencillas, como la planteada por Natasha Loder. ¿Por qué es importante la biodiversidad? Hicieron falta años de estudiar la bibliografía científica y llevar a cabo nuestros propios análisis para obtener una explicación firme, sólida, pero ahora esa respuesta tiene una base científica. Por decirlo de una manera sencilla, cuanto mayor sea la biodiversidad de los ecosistemas, más productivos, estables y resilientes serán, y más beneficios nos proporcionarán. Hasta la agricultura da mejores resultados cuando hay una diversidad de cosechas.

Sería fácil decir que estaba claro desde el principio. Cualquier inversor sabe que tiene que diversificar su cartera para obtener mayores beneficios. Pero las prácticas de monocultivo agrícola a nivel industrial no saben ver esta analogía tan evidente. Sea como sea, invertir en biodiversidad, es decir, prevenir un mayor declive y restaurar tanto como sea posible, es esencial para el futuro de la humanidad. Los ecosistemas naturales son nuestros ahorros y nuestro seguro de vida. Tenemos que asegurarnos de que la cartera del capital invertido está bien diversificada.

Eso nos lleva a otra pregunta: ¿cómo restauramos nuestro capital natural?

10

Zonas protegidas

La televisión me empujó al mar. Durante los setenta, cuando era niño, siempre veía *El mundo submarino de Jacques Cousteau* en la televisión de España. Por aquel entonces solo había dos canales, y Cousteau era el único que nos llevaba el océano al salón de casa. Cada domingo por la tarde me sentaba con veinte minutos de antelación delante de lo que aún llamamos en mi país «la caja tonta» y aguardaba con impaciencia hasta que empezaba el programa. Aún quedaban lejos los tiempos de la televisión a la carta y las grabadoras de vídeo, así que no me podía perder ni un segundo. En cuanto empezaba a sonar la sintonía, pedía silencio al resto de mi familia, que acudía a ver el programa, tan atrapados como yo. Cousteau y su equipo de osados exploradores submarinos, a bordo del famoso *Calypso*, me hicieron soñar con lugares exóticos, maravillosos paisajes acuáticos poblados por criaturas espectaculares, buzos con traje de neopreno que descubrían una cosa tras otra. Eso quería hacer yo de mayor: explorar el océano y bucear entre meros, focas, delfines y ballenas; detenerme en exuberantes arrecifes de coral con paletas de color imposibles; atravesar a nado bosques de algas semejantes a catedrales submarinas; vivir la emoción de lo que me traería cada nuevo día.

Mis padres, mi hermano pequeño y yo pasábamos los meses de verano a orillas del Mediterráneo, en la Costa Brava, donde trabajaba mi padre. Yo iba todos los días con mi madre y mi hermano a las playas de arena fina o a las calas rocosas cercanas. Me pasaba el tiempo chapoteando con mis aletas azules, la máscara negra y el esnórquel color naranja hasta que acababa tiritando de frío. Entonces volvía a la playa y me tumbaba en la toalla hasta que el sol me caldeara de nuevo, y volvía al mar. Enric, la pequeña iguana marina.

Nadar en el Mediterráneo era emocionante, pero a mí me tenía desconcertado. ¿Dónde estaban las focas, los delfines, los meros

enormes que Cousteau nos enseñaba en su programa? Yo como mucho veía unos pocos lábridos o damiselas más pequeños que mi máscara. Ni rastro de épicas algas kelp en el fondo; solo rocas y erizos de mar. De vez en cuando me pasaba cerca una medusa con la amenaza de su doloroso aguijonazo. Así era el mar que conocí de niño.

Años más tarde, una inmersión lo cambió todo.

Cuando cumplí dieciocho años tuve edad legal para practicar submarinismo, de modo que me apunté a un curso con unos amigos de la universidad. En la primavera de 1986, tras varias clases teóricas y un par de inmersiones de prueba en la piscina, me sumergí por fin en aguas abiertas. Era la primera vez que intentaba hacer de verdad lo mismo que Cousteau. El corazón me latía a toda velocidad. Estaba tan emocionado y tan nervioso que consumí todo el aire de la bombona en quince minutos, cuando tendría que haberme durado una hora. Sin embargo, aquellos quince minutos fueron mi primer contacto con el paraíso.

Por suerte para mí, el instructor nos había llevado para aquella inmersión a las islas Medas. Nunca antes había visto una reserva marina. Se trataba de una zona protegida de menos de cien hectáreas donde la pesca estaba prohibida desde hacía tres años. Y allí, a diferencia de lo que sucedía en las rocas yermas de mi infancia, había un bosque de algas en miniatura. Allí habitaban más especies de meros de las que yo conocía. Allí había bancos enteros de besugos. En aquella inmersión vi por primera vez una garopa, una enorme escorpena y un pulpo que me dio una sorpresa, porque, hasta que no se movió, no lo había divisado.

Habían bastado tres años de protección para iniciar una sucesión ecológica que fui siguiendo con el tiempo. Durante los diez años siguientes, cada fin de semana sin falta me sumergí en la reserva de las islas Medas. Mis colegas de la Universidad de Barcelona y yo pasábamos allí unas semanas todos los veranos para llevar a cabo la monitorización científica anual de la reserva marina.

Todos los datos indicaban que las cifras iban en ascenso. Los peces de valor comercial (meros, lubinas, besugos, salmonetes...) crecieron en número y tamaño. Era habitual encontrar mejillones de abanico del tamaño de raquetas de tenis, que se habían recuperado después de que se prohibiera que los barcos echaran allí el ancla, o que la pesca con fines ornamentales los llevara al borde de la

extinción. En aquellas primeras inmersiones siempre vi langostas rojas que asomaban las antenas por las grietas y bajo los salientes de las rocas. Vi increíbles corales rojos del Mediterráneo que crecían rodeados de diminutos corales de copa blancos y amarillos, a salvo de la acción destructiva de los recolectores. Había pulpos, muchos, grandes. Vi crecer el número de chernas y meros, que en algunos casos pasaban bien del metro de largo. Todos los especímenes estaban sanos y bien alimentados. El ecosistema de las Medas les proporcionaba comida en abundancia.

Ahora sé que aquellas empobrecidas aguas del Mediterráneo de mi infancia me emocionaban porque no conocía nada mejor. Para mí eran lo normal, lo natural. No tenía ni idea de cómo podía ser la vida marina del Mediterráneo. Sufría lo que mi amigo Daniel Pauly describió en 1995 como «síndrome de línea de base cambiante». Daniel se refería a los gerentes de la industria pesquera que, a falta de datos históricos, adoptan como línea de base de una población de peces saludable la que vieron cuando empezaron a trabajar. Pero la práctica de la pesca empezó a diezmar los mares mucho antes de que se nos ocurriera estudiarlos con métodos cuantitativos modernos. De ahí que la línea de base haya cambiado. Lo que nos parece normal no es necesariamente natural, sino, con toda probabilidad, lo que vimos al fijarnos por primera vez. Este síndrome no afecta solo a la pesca, sino también a todos los aspectos de nuestra vida. Por ejemplo, en muchas ciudades asiáticas grandes, la gente lleva mascarilla al salir de casa, sobre todo si los niveles de contaminación sobrepasan lo aceptable. Los niños que nacen hoy en día allí pensarán que es lo normal, pero hace veinticinco o cincuenta años a nadie se le habría ocurrido ponerse una mascarilla.

Otro amigo y colega, Jeremy Jackson, contribuyó a cambiar la línea de base en el mundo de la ecología marina con un artículo seminal (e inesperado) titulado «Reefs Since Columbus». Recuerdo que asistí a una presentación de Jeremy en un congreso sobre conservación de la biología marina en 1997, en la Universidad de Victoria, en Canadá. Tras escuchar a otros muchos ponentes en una jornada que se estaba prolongando demasiado, Jeremy se acercó con paso decidido al proyector del escenario y empezó a mostrar mapas y datos. Aquella voz grave y aquellas ideas originales cautivaron a los presentes. Nos abrió los ojos al hecho de que los animales grandes del

océano (ballenas, tortugas marinas, tiburones...) fueron en el pasado muchísimo más abundantes de lo que pensábamos nosotros, incluidos los científicos y los pescadores. Aportó relatos históricos para descubrirnos un mundo con niveles de abundancia inimaginables. Por ejemplo, Andrés Bernáldez escribió sobre el segundo viaje de Colón en 1494, y dijo que «el mar estaba tan denso de tortugas y eran de las más grandes, tan numerosas que temíamos que los barcos encallarían en ellas y era como si fuésemos a bañarnos en un mar de ellas». Jeremy ejecutó la presentación como un director de orquesta enloquecido, rebosante de energía contagiosa. Todos escuchábamos con atención, y seguro que nos preguntábamos en qué habíamos estado pensando. Tras su extraordinaria intervención, Jeremy quitó la última transparencia del proyector y se dio media vuelta agitando la larga coleta pelirroja. Por un momento se hizo un silencio tal que se habría oído caer un alfiler, y luego todos los presentes, estudiantes incluidos, rompieron a aplaudir con entusiasmo.

Loren McClenachan, una estudiante de Jeremy, analizó más adelante muchas fuentes históricas y calculó que en aquellos tiempos había del orden de 91 millones de tortugas verdes adultas en el Caribe. Es decir, 300 veces más que las que se calcula que hay en la actualidad, unas 300.000.

La historia puede hacer que cambiemos la línea de base. Las zonas protegidas, como la reserva marina de las islas Medas, también contribuye a ello. En las Medas presencié a lo largo del tiempo la sucesión ecológica en acción: un ecosistema que se autorregeneraba y avanzaba hacia la madurez. Esa reserva marina era una ventana al pasado.

He presenciado muchas veces, en todo el mundo, el milagro de las zonas marinas protegidas. En 1999, el cabo Pulmo, en el golfo de México (California), estaba a punto de convertirse en un desierto submarino. Mis colegas mexicanos y yo lo supervisamos en el marco de un estudio más amplio que llevamos a cabo a todo lo largo de Baja California. Por aquel entonces no se diferenciaba del resto del Golfo: debido al exceso de pesca, era apenas una sombra de su glorioso

pasado, aunque había más corales que en otras zonas. Las poblaciones de peces no tenían nada de especial. Pero cuatro años antes, los pescadores de la zona, desesperados ante la falta de capturas, habían hecho algo inesperado: en lugar de pasar más horas en el mar, tratando de pescar lo poco que quedaba, abandonaron por completo la actividad pesquera. Convencieron al Gobierno mexicano para que creara un parque nacional marino, una reserva donde estuviera prohibida la pesca. Pasaron cuatro años sin que sucediera gran cosa. Pero en 2009, un antiguo estudiante y amigo mío, Octavio Aburto, volvió para ver qué tal iban las cosas en el golfo de California. Realizó inmersiones en los mismos lugares que había examinado hacía diez años. El cabo Pulmo era nuestro escenario experimental, el lugar donde había cesado la pesca. En el resto de las zonas de control del golfo de California se seguía pescando.

Las zonas de control estaban como hacía diez años, sin poblaciones de peces dignas de destacar: muy pocos tiburones, algún que otro mero o un pargo grande... Y luego estaba el cabo Pulmo. Lo que una década antes era un paisaje yermo se había convertido en un caleidoscopio de vida y color. En una sola inmersión se podían avistar más tiburones de los que el equipo había visto en los diez años previos, junto con bancos incipientes de meros dorados y meros del Golfo. El cabo Pulmo había recuperado una condición prístina en tan solo diez años, con el regreso incluso de los depredadores grandes, como chernas, barracudas y tiburones.

Cuando los depredadores grandes vuelven a una reserva marina se crean también, una vez recuperada su abundancia, las cascadas tróficas. Por ejemplo, en el Mediterráneo y en Nueva Zelanda, los depredadores de los erizos de mar (besugos en el primer caso y pargos en el segundo) reducen la densidad de su presa y, por tanto, han cambiado el ecosistema, que pasa de un estado inmaduro y empobrecido (eriales de erizos) a otro complejo y maduro (bosques de algas con gran biodiversidad). Tras cinco años de protección, el número de depredadores se incrementa de manera significativa. Una cascada trófica completa puede llevar una década o más.

Las zonas de protección plena donde la pesca está prohibida muestran los cambios más positivos y el progreso más rápido en la sucesión. Si examinamos los estudios sobre veinticuatro reservas marinas en veintinueve países vemos que, de media, las reservas

contienen un 21 por ciento más de especies y que los organismos son un 28 por ciento más grandes que en las zonas cercanas no protegidas. Mi amiga Sylvaine Giakoumi y yo analizamos toda la bibliografía en busca de datos sobre el incremento de biomasa de peces tanto en zonas plenamente protegidas como en otras con menor nivel de protección. Aunque parezca increíble, la mayoría de las zonas marinas designadas como «protegidas» permiten la pesca a diferentes niveles, desde la pesca tradicional a pequeña escala hasta la pesca industrial de arrastre. Por tanto, no se pueden meter en el mismo saco las zonas protegidas y aquellas donde la protección es escasa o mínima. Son manzanas y naranjas, rapes y pulpos. A lo largo de treinta años de submarinismo yo había comprobado en persona que las zonas con protección escasa tienen menos peces y más pequeños que aquellas donde la pesca está prohibida, y nuestro análisis reveló el mismo resultado: en las zonas protegidas donde se permite algo de pesca, la biomasa de peces no llega ni a duplicarse, mientras que en las zonas de protección plena la biomasa total de peces es, de media, seis veces más alta que en las zonas cercanas no protegidas, y el número de tiburones se multiplica por quince. Permitir la pesca en las zonas protegidas es como echar granitos de arena en el mecanismo del reloj de la sucesión: el reloj seguirá funcionando, pero tarde o temprano se atascará y se detendrá.

No se puede entrar en el Louvre y coger cualquier cuadro que nos guste. Entonces ¿por qué permitimos que alguien extraiga seres vivos de zonas que nos parecen de gran importancia y necesitadas de protección? No hay conservacionista que diga que la tala de árboles, por muy bien organizada que esté, es parte de la «protección forestal», pero muchos que se dicen conservacionistas y las organizaciones a las que pertenecen están en contra de las zonas de protección plena en el mar. Está muy bien tener zonas marinas de pesca responsable, pero si lo que queremos es recuperar lo antes posible la vida marina e impedir su desaparición cada vez más rápida, es imprescindible delimitar zonas donde la pesca esté prohibida.

Siempre que publico un artículo o doy una charla acerca de las reservas marinas salen los sospechosos habituales —que, por lo general, son representantes gubernamentales y científicos que trabajan para la industria pesquera—, a decir que una buena gestión de la pesca haría que las zonas protegidas fueran innecesarias. Pero la pesca

es la operación de caza a mayor escala del planeta y afecta a la mitad de la superficie oceánica; por mucho que se restrinja, sigue arrancándole la vida al mar. ¿Cómo se puede considerar que, para restaurar la biodiversidad, eso es mejor que proteger ciertas zonas donde la vida marina tenga ocasión de recuperarse por completo y reorganizarse en sistemas complejos?

¿Y qué hay de la tierra firme? ¿Es posible conservar y restaurar la biodiversidad gracias a los parques nacionales y otras zonas protegidas, igual que sucede con las reservas marinas?

La respuesta me recuerda al viejo chiste: «¿Por qué roban bancos los ladrones? ¡Porque es donde está el dinero!». El turismo interesado en la naturaleza va a los parques nacionales y reservas naturales porque es donde están los animales. Las zonas protegidas en tierra firme cuentan con más abundancia de vida salvaje que las zonas no protegidas. Si alguien quiere ver ñus, leones y cebras, es mejor que vaya al parque nacional del Serengueti que a zonas de Kenia y Tanzania donde la vida salvaje no está protegida. Para ver bisontes y lobos es mejor visitar Yellowstone que una zona no protegida de Wyoming.

Hay muchos estudios que demuestran que las zonas protegidas en tierra firme preservan eficazmente los hábitats y las especies. La riqueza de especies y la abundancia animal son más altas en las zonas protegidas que en las zonas no protegidas de las cercanías. Sucede lo mismo que en las reservas marinas: los animales son de media más grandes y la biomasa es proporcionalmente superior que en los alrededores. En los trópicos, las zonas protegidas son un instrumento eficaz para reducir la tala, la caza, el pastoreo intensivo y los incendios.

Pero no basta con marcar una zona como protegida: también se requiere control y vigilancia. La conversión ilegal del uso del suelo, la caza y la pesca conspiran para deteriorar la salud de aquellos ecosistemas que dicen proteger, pero no son solo las actividades ilícitas las que degradan los entornos protegidos: los Gobiernos también pueden eliminar de manera legal la protección o reducir la

zona a la que se aplica. Yo creía, como todo el mundo, que las zonas protegidas eran sagradas e intocables, pero no es verdad. Las zonas protegidas han perdido su estatus oficial o han visto reducido su tamaño en más de setecientas ocasiones en Estados Unidos y la zona del Amazonas correspondiente a Brasil, y dos terceras partes de esos cambios han tenido lugar después del año 2000.

La parcelación o reducción de zonas protegidas en nombre del desarrollo es una mala inversión por partida doble. En primer lugar, todo lo que se consigue con la protección puede desaparecer muy deprisa; en segundo lugar, el tamaño sí importa. Por ejemplo, para proteger el ecosistema mayor, el parque nacional de Yellowstone, haría falta designar como mínimo una zona que incluyera todo el radio de acción de la especie clave, el lobo, o de su presa móvil, el alce, que es aún más amplio. Si se reduce este espacio, los lobos se aventurarán fuera de los límites del parque para buscar alimento y se producirán conflictos con los ranchos, sobre todo porque la frontera entre el parque y los ranchos de los alrededores es muy clara. Se incrementa la posibilidad de que los rancheros disparen contra los lobos, con todas las consecuencias que conlleva la reducción en el número de los depredadores máximos.

Un estudio reciente sobre el Serengueti ha demostrado que la presión externa sobre los ecosistemas, que llega hasta las vallas mismas, hace que los ñus y otros herbívoros se alejen de la zona perimetral del parque y pasten sobre todo en el centro. El impacto del pasto concentrado en una zona reducida pone en peligro la capacidad de la vegetación para capturar y almacenar carbono. Pero el mejor ejemplo es lo que sucede en la selva del Amazonas, que, como ya hemos visto, produce su propia lluvia y modelo climático. Los estudios apuntan a que en 2019, si se pierde entre un 15 y un 20 por ciento de superficie de la selva, lo que quede no tendrá ya la capacidad de crear su microclima, con consecuencias catastróficas para el planeta entero.

Entonces ¿todas las zonas protegidas tienen que ser de gran tamaño? Cuando empecé a estudiar Biología conservacionista en los años ochenta había una discusión candente en el mundo académico: ¿qué es mejor?, ¿proteger una zona única de gran tamaño o varias más pequeñas? El debate «único grande o varios pequeños» (SLOSS, por sus siglas en inglés) tuvo partidarios apasionados en ambos bandos que defendían sus hipótesis y hacían caso omiso de las pruebas

en contra. Unos cuestionaban que una zona pequeña, por sí sola, tuviera la capacidad de impedir la extinción de una población local de plantas o animales. Otros insistían en la necesidad de conectar zonas protegidas aisladas mediante corredores que permitieran la supervivencia de la población global de especies amenazadas.

Por resumir en pocas palabras: necesitamos las dos cosas. Las zonas protegidas pequeñas pueden ser la única herramienta práctica en áreas de alta densidad de población humana, y quizá preserven algunas especies de aves o insectos restringidos a un valle o isla. Pero para conseguir los beneficios que proporciona un ecosistema, como el almacenamiento de carbono y la producción de lluvia, cuanto más amplia sea la zona protegida, mejor.

Siempre que se plantea el valor de las zonas naturales protegidas surge la misma pregunta: ¿qué gana con esto el ser humano? He conocido a unos cuantos pescadores que se oponían a la creación de reservas marinas, aunque fueran pequeñas; tenían miedo de que los conservacionistas les prohibieran pescar. Tal vez fuera un problema de comunicación, o la reacción típica de culpar a otros por el agotamiento de recursos que ellos mismos habían provocado. Sea como sea, pocos años más tarde esos mismos pescadores están aprovechándose de esa protección; muchos piden acceso exclusivo a los alrededores de las reservas, incluso hasta que se incremente su tamaño. Los beneficios para el ser humano son tanto a nivel local como a nivel global, en el mar y en la tierra.

En tierra, los ecosistemas forestales maduros dan cobijo a un mayor número de especies, y también capturan enormes cantidades de carbono. Son dos cosas muy relacionadas. Los árboles grandes de los bosques primigenios envían carbono al suelo cuando realizan la fotosíntesis y lo almacenan en la madera. Los bosques protegidos donde aún viven frutívoros grandes como los tapires de Sudamérica o los buceros de Borneo también almacenan más carbono, ya que estos animales comen fruta, dispersan las semillas y sus heces devuelven nutrientes al suelo, lo que enriquece la tierra y, al mismo tiempo, limita el calentamiento global. Los herbívoros grandes de las sabanas

protegidas, como los bisontes, los búfalos o los ñus, fomentan el secuestro de carbono en las tierras porque, al pastar, se estimula el crecimiento de las plantas. Un nivel moderado de pasto mantiene las plantas fisiológicamente jóvenes durante más tiempo, y por tanto permite que estas sigan desarrollándose.

Lo mismo se aplica al océano. La bahía de los Tiburones, en Australia, es tan grande como el estado de Nuevo Hampshire; el lecho marino arenoso está cubierto de plantas acuáticas de gran tamaño que dan cobijo a herbívoros grandes, como dugones o tortugas de mar. Y donde hay presas, hay depredadores. Aquí, los tiburones tigre crean un paisaje del miedo: los herbívoros prefieren las zonas de plantas marinas menos profundas, de acceso más complicado para los tiburones. Las zonas más profundas, donde el índice de depredación es más alto, retienen una cantidad mayor de carbono. Por tanto, son ecosistemas saludables, con redes de alimentación muy complejas que dan como resultado un secuestro de carbono significativo.

Las zonas protegidas devuelven la salud al ecosistema que delimitan, pero ¿qué efecto surten sobre la salud del ser humano? En 1982, Japón incluyó en el sistema nacional de salud la práctica del *shinrin-yoku*, que viene a ser pasar un tiempo en el bosque. Mucha gente se burla de los «abrazaárboles» y utilizan el término en sentido peyorativo, pero estamos descubriendo que las personas que pasan momentos de soledad en el bosque pueden ser más inteligentes y tener niveles de estrés inferiores. No son imaginaciones nuestras. Los árboles emiten oxígeno como subproducto de la fotosíntesis, además de segregar aceites volátiles que los protegen de los insectos y los patógenos. Estos aceites también mejoran nuestro sistema inmune. El hecho de respirar hondo, pausadamente, en un bosque, contribuye a reducir la presión arterial y los niveles de hidrocortisona, la hormona del estrés.

No hace falta que el Gobierno apoye prácticas como el *shinrin-yoku* para que nos beneficiemos de los efectos terapéuticos del bosque. Cualquiera que esté en contacto permanente con zonas protegidas recibe estos beneficios. En el año 2019, un estudio recogió datos sobre 87.000 niños de más de 60.000 hogares en 34 países en vías de desarrollo. Unos vivían cerca de zonas protegidas; otros, lejos. Los autores del estudio descubrieron que los hogares cercanos a zonas protegidas donde se fomentaba el turismo ecológico eran un 17 por

ciento más saludables y tenían un 16 por ciento menos de probabilidades de vivir en la pobreza. Los niños menores de cinco años que vivían cerca de estas zonas protegidas eran un 10 por ciento más altos de lo que correspondía a su edad, y tenían un 13 por ciento menos de propensión al raquitismo que los que vivían lejos de los bosques. Cabe destacar que el estudio no detectó ningún impacto negativo en la salud por vivir cerca de zonas protegidas. El estudio de 118 artículos pasados por el filtro de la revisión colegiada concluyó que las personas que viven cerca de zonas marinas protegidas antiguas donde está prohibida la pesca también disfrutan de niveles más altos de bienestar.

El bienestar no es la única razón para proteger las zonas naturales. También sirve para salvar vidas. En marzo de 2019, el ciclón Idai devastó Mozambique. Las lluvias provocaron una inundación de proporciones bíblicas que mató a más de mil personas y destruyó millares de casas. Mi amigo Greg Carr, el héroe de la restauración del parque nacional de Gorongosa, en Mozambique, se volcó en la ayuda a los afectados. Los guardas forestales del parque fueron de los primeros en llegar a la zona de la catástrofe. Gracias a fotografías de satélite en tiempo casi real, identificaron las zonas inundadas y las rutas más seguras para llevar alimentos a las víctimas. El personal del parque aportó suministros de emergencia, como 220 toneladas métricas de comida y agua para casi 40.000 personas. El propio parque ayudó a los supervivientes: en las praderas próximas donde pastaba el ganado, el suelo estaba tan empobrecido que no podía retener el agua, que resbalaba como si cayera sobre asfalto. Sin embargo, las praderas protegidas del Gorongosa absorbieron una cantidad de agua de lluvia equivalente a 800.000 piscinas olímpicas. Si toda esa cantidad de agua hubiera bajado hasta las zonas habitadas, las inundaciones habrían sido peores y el número de víctimas, mucho más elevado.

Es obvio que las zonas protegidas proporcionan beneficios importantes no solo a la naturaleza, sino también a los seres humanos y a la economía local. Lo lógico sería exprimir al máximo estas posibilidades, pero en el momento de escribir estas líneas solo el 7 por ciento del océano está calificado o propuesto como zona protegida, la pesca solo está prohibida en el 2,4 por ciento, y únicamente el 15 por ciento de la tierra cuenta con esta protección. Nos hace falta más,

mucho más.

Los informes más recientes apuntan a que el ser humano ha transformado (ha degradado) el 73 por ciento de la tierra. Los bosques han quedado tan fragmentados que si alguien saltara en paracaídas sobre un bosque en cualquier punto del mundo tendría un 70 por ciento de posibilidades de caer a menos de un kilómetro de los límites. Solo quedan ecosistemas terrestres intactos en un 27 por ciento de este planeta donde vivimos, y no es suficiente. No basta para prevenir la extinción masiva. La predicción de las Naciones Unidas es que, en las próximas décadas, puede desaparecer hasta un millón de especies. No basta para prevenir un descenso del 60 por ciento en el número de vertebrados terrestres desde 1979 y la drástica reducción en la cantidad de aves e insectos en todo el mundo. No basta para mantener las plantas necesarias para absorber el exceso de CO_2 que producimos. No basta para contribuir a mitigar los impactos del cambio climático. Es imprescindible conservar lo que tenemos: los bosques, las praderas, las turberas, los humedales... todos los ecosistemas que nos quedan intactos. Tenemos que hacer más y hacerlo mejor.

En el océano, la causa principal de pérdida de biodiversidad hasta la fecha no ha sido la degradación del hábitat, sino la extracción de biomasa: la pesca. Hay una excepción: las plataformas continentales, donde la pesca de arrastre ha resultado tan destructiva para los hábitats oceánicos como la tala y la quema en los terrestres. Con todo, las pautas son idénticas. En la actualidad, la pesca está permitida a un nivel u otro en el 97 por ciento del océano. No ha bastado con proteger un 2,4 por ciento para impedir la desaparición del 90 por ciento de los depredadores, como el atún o el tiburón. Es insuficiente para detener el declive de los ecosistemas costeros.

La protección es insuficiente. Esta es la situación que nos encontramos por todas partes. Pero ¿hasta qué nivel hay que llegar? ¿Qué porcentaje del planeta tenemos que proteger para marcar la diferencia, tanto para la naturaleza como para nosotros?

Los estudios científicos recomiendan que protejamos la mitad del planeta, tanto la tierra como el mar, para preservar la biodiversidad y

garantizar todos los beneficios que proporciona la naturaleza y de los que dependemos, como el secuestro de carbono, que es esencial para ayudarnos a mitigar el cambio climático. Al mismo tiempo, en la otra mitad tenemos que actuar de manera responsable y sostenible. Esta conclusión coincide con el resultado de una encuesta llevada a cabo a nivel mundial, que indica que los ciudadanos quieren que se proteja la mitad del planeta.

Es un objetivo ambicioso. Se podrá alcanzar si ampliamos las zonas protegidas hasta ocupar un 30 por ciento del planeta antes de 2030, designando otro 20 por ciento como «zonas de estabilización climática», es decir, ecosistemas conservados en su estado natural para que sigan absorbiendo buena parte de la contaminación por carbono que lanzamos a la atmósfera. Sin ese nivel de protección, el objetivo marcado en el Acuerdo de París sobre el cambio climático de 2015 será inalcanzable.

Las zonas de estabilización climática, también conocidas como sumideros de carbono, no están necesariamente protegidas, pero ya sirven para mantener la actividad de bosques y praderas. Entre ellas están las tierras de los pueblos indígenas, un 37 por ciento de todos los parajes naturales que quedan en el planeta. Estas tierras almacenan casi 300 gigatones de carbono, es decir, 30 veces la cantidad de emisiones de carbono a nivel global en 2019. Un 20 por ciento de estas tierras se encuentran en zonas protegidas, pero el resto solo se conservan en su estado natural gracias a las tradiciones locales. En el Amazonas tenemos un triste ejemplo en 2019, donde las tribus tuvieron que proteger sus tierras y su selva, y para ello se enfrentaron con violencia a los ganaderos y mineros que estaban realizando talas y quemas ilegales. Si no fuera por estos pueblos indígenas, la selva amazónica sería mucho más pequeña hoy en día. Su experiencia y su voz son esenciales para conservar los ecosistemas saludables que nos quedan.

Estos pueblos indígenas nos recuerdan hasta qué punto han cambiado nuestras líneas de base. ¿Seremos capaces de proteger la mitad del planeta para que las líneas de base de nuestros hijos y nietos vuelvan a cambiar, para que su visión de un ecosistema natural se parezca más a la de hace siglos? Y, sobre todo, ¿seremos capaces de hacerlo a tiempo? ¿Basta con detener la actividad destructora del ser humano en las zonas protegidas y esperar a que los ecosistemas se

regeneren? ¿O hay alguna manera de acelerar la sucesión ecológica?

11

Resilvestración

Yellowstone, creado en 1872 por el Gobierno de Estados Unidos, fue el primer parque nacional del mundo. Se protegió por su belleza natural y por su destacado valor ecológico, pero nadie puso en tela de juicio que se siguiera matando a los lobos que lo habitaban. Tanto en Europa como en América del Norte, los temores más arraigados han hecho que viéramos al lobo como una fiera que había que exterminar. Para muchos, eran y aún siguen siendo enemigos que matan al ganado, a animales que cazamos, como el ciervo, e incluso a las personas. Las políticas gubernamentales han cimentado esta creencia, de manera que en muchos países el exterminio del lobo ha sido sistemático. Ahora sabemos que los lobos no atacan a las personas (y por irónico que parezca, los perros matan a unas veinticinco mil personas al año debido a la rabia, pero a nadie se le ocurre exigir que los exterminen). Es como si estuviéramos encantados con la versión doméstica del lobo, que hemos ido manipulando genéticamente a lo largo de milenios, pero en cambio no nos atreviéramos a mirar a los ojos al lobo salvaje, a tratar de comprender qué es y qué hace. Y ahora los científicos sabemos que los lobos mantienen la cohesión de ecosistemas enteros.

Eso no lo entendió nadie en las décadas siguientes a la declaración de Yellowstone como parque nacional. El exterminio del lobo era la norma, y el último avistamiento se produjo en los años veinte. Veamos la situación setenta años más tarde.

En 1994, Yellowstone era un hermoso mundo de géiseres y paisajes nevados en invierno donde abundaban los alces. Pero los alces pastaban en exceso junto a los ríos. No solo se comían las hierbas y la maleza, sino también los retoños de álamos, sauces y otros árboles que crecían en la ribera. Los encargados del parque trataron de controlar la población de alces con sacrificios selectivos, pero la reducción del número no fue acompañada por una reducción de su impacto.

Los ecologistas comprendieron que, dado que el control humano no estaba sirviendo de nada, había una manera de que la naturaleza recuperara el equilibrio en Yellowstone. Había que restaurar la red alimentaria con la reintroducción del depredador máximo, el lobo. De modo que, en 1995, se liberaron en Yellowstone 31 lobos para que regularan el número de alces, lo que no habían conseguido los humanos.

El plan funcionó. Aquellos 31 lobos y sus descendientes actuaron como ingenieros paisajísticos y transformaron todo el parque. Redujeron y regularon el número de alces, pero también los obligaron a cambiar de comportamiento: con su presencia, crearon un paisaje del miedo en el que los alces pasaban menos tiempo en campo abierto para evitar sus ataques, igual que había sucedido con los tiburones tigre en la bahía de los Tiburones de Australia. A los pocos años, los árboles de las riberas volvieron a crecer, y al incrementarse el hábitat arbóreo, creció también la población de pájaros cantores. Los bosques de álamos y sauces proyectaban sombra sobre los arroyos, con lo que bajaba la temperatura, se reducía la erosión, y tanto los peces como otros tipos de vida acuática tenían un lugar de refugio.

Gracias a estos nuevos bosques ribereños, la población de castores se multiplicó por doce en tan solo trece años. El incremento en el número de presas que construían y los hábitats más ricos permitió un aumento del número de nutrias, ranas y reptiles. Los lobos también cazaban coyotes, así que las presas de estos últimos se vieron incrementadas igualmente. La presencia de más conejos, ratones y otros mamíferos pequeños en todo el parque hizo que se multiplicara el número de sus depredadores, como las águilas y los zorros.

Pero la cosa no quedó ahí. Antes de la reintroducción del lobo, muchos alces morían durante los inviernos más duros e incluso al final de inviernos más moderados, cuando sus recursos de alimentación quedaban enterrados bajo una espesa capa de nieve. Los carroñeros (cuervos, águilas, zorros, osos, coyotes...) se alimentaban de las carcasas de los alces durante la estación invernal. Sin embargo, desde 1948, los inviernos se han ido haciendo más cortos. El deshielo se produce más temprano, con lo que mueren menos alces, y eso significa que hay menos alimento para los carroñeros. La reintroducción del lobo lo cambió todo. Los lobos cazaban alces, con lo que había carroña hasta en los inviernos más templados. La mayor cantidad de

carroña provocó un incremento en el número de carroñeros, lo que contribuyó al reciclaje de la necrosfera reciente, que nutre la materia viva.

En resumen, la reintroducción de los lobos enriqueció el ecosistema de Yellowstone y lo llevó a un estado más maduro. El lobo, el depredador supremo del parque nacional, es el héroe en este cuento. Su regreso provocó el retorno de todas las criaturas, plantas y animales, grandes y pequeñas, y también está ayudando a mitigar el impacto del calentamiento global.

El lobo es la encarnación de la especie clave. Su función en los ecosistemas terrestres es proporcionar vida a todo tipo de criaturas, en abierto contraste con la imagen demoniaca que los humanos tienen de él. La resilvestración de Yellowstone con el depredador máximo contribuyó a dar cuerda al reloj «sucesional» y a impulsar el ecosistema hacia una etapa más madura de la sucesión ecológica. Sin los lobos, el ecosistema estaba retrocediendo.

Los depredadores máximos son los primeros que desaparecen con la llegada del ser humano. No toleramos la competencia. Queremos ser los únicos en la cúspide de la red alimentaria, los soberanos de un entramado más simple y reducido, con especies más pequeñas y una alta tasa de renovación como súbditos. Siempre hemos tratado de detener el avance de los ecosistemas o hacerlos retroceder a etapas sucesionales más tempranas. ¿Es posible cambiar esa tendencia? ¿Podemos ayudar a los ecosistemas a superar los obstáculos que hemos puesto en el camino de su maduración?

La respuesta es afirmativa gracias al proceso de resilvestración. Conseguimos resilvestrar Yellowstone, y los resultados están a la vista.

La resilvestración consiste en reintroducir especies nativas para devolver al ecosistema el ciclo natural completo. La reintroducción de depredadores de alto nivel, como los lobos de Yellowstone, puede acelerar la restauración de los ecosistemas. Pero los depredadores de alto nivel solo pueden surtir este efecto de cascada trófica si entran en un ecosistema con todas las especies que les sirven de presa, es decir, en zonas salvajes o protegidas de cierto nivel de madurez. ¿Sería posible reintroducir herbívoros, especies que comen plantas y son presa de los depredadores de alto nivel? La respuesta la encontramos en este ejemplo del Serengueti.

En el parque nacional del Serengueti, una enfermedad nos

proporcionó un experimento natural a escala de un ecosistema de gran tamaño, cosa que no habría sido posible mediante la manipulación artificial. En 1890, en menos de dos años, un brote de peste bovina acabó con el 95 por ciento de los ñus y búfalos de África Oriental. La enfermedad, transmitida por el ganado, provoca fiebre, diarrea, inflamación de las membranas mucosas y una elevada mortalidad. Se inició el tratamiento, y en 1963 ya se había vacunado a todo el ganado de las zonas cercanas al parque. Cuando se erradicó la enfermedad del ganado doméstico, se recuperó la población de animales salvajes, y se pasó de 250.000 ñus en 1961 a 1,3 millones en 1977. El incremento de ñus hizo que subiera el número de gacelas de Thomson, que prefieren alimentarse allí donde han pastado los ñus. El número de ungulados como presa hizo subir la población de hienas y leones, y además el número de ñus que pastaban en la zona mantenía la hierba corta, con lo que había pocas plantas que se secaran y, por tanto, menos combustible en caso de incendios. El menor número de incendios permitió la supervivencia de más retoños de acacia. A las jirafas les encantan los retoños de acacia, y su número se incrementó. La abundancia de jirafas hizo que menos acacias llegaran a ser árboles adultos, pero fomentó que aparecieran más arbustos de la misma especie, que crearon un sotobosque saludable y más desechos orgánicos en el sistema. Otra cascada trófica invertida, de abajo arriba, o mejor aún, en toda la red alimentaria. En este caso, la resilvestración no consistió en la reintroducción de especies, sino en garantizar la salud y la proliferación de especies en peligro.

La resilvestración no solo acelera la sucesión ecológica; también ayuda a mitigar el cambio climático, ya que los ecosistemas maduros secuestran y almacenan más carbono que los degradados. Por ejemplo, muchos árboles de las selvas tropicales necesitan la cooperación de los mamíferos grandes para perpetuar su especie. Los tapires de Sudamérica y los elefantes de África Occidental, por ejemplo, comen fruta carnosa de los árboles y dispersan las semillas tras el paso por su sistema digestivo. Los árboles con frutas más grandes suelen ser más altos y de madera más densa, con lo que almacenan más carbono que otros; de ahí la importancia de los mamíferos grandes capaces de comer esas frutas. Algunos estudios muy recientes apuntan a que la pérdida de los frutívoros de gran tamaño puede llevar a la liberación de un 12 por ciento del carbono de las selvas tropicales, con lo que

eso significa para el calentamiento global. La resilvestración de nuestras cada vez más fragmentadas selvas tropicales con estos animales, o la simple prohibición de la caza, beneficiaría a la humanidad y al resto de la vida en el planeta.

Los parques nacionales del Serengueti y de Yellowstone son zonas protegidas resilvestradas, unas veces de manera intencionada y otras de manera casual. Pero ¿puede la resilvestración contribuir a restaurar otras partes del planeta, incluso ecosistemas no protegidos? ¿Por ejemplo, las tierras agrícolas, que son lo más parecido a una biodiversidad cero que hay en el planeta? ¿Sería posible recrear el ecosistema natural que hubo en el pasado?

En 1987, Charlie Burrell heredó de sus padres una granja inglesa. Y no era una granja cualquiera, sino Knepp, en Sussex Occidental, 1.400 hectáreas de tierras que databan del siglo XII y que habían recibido la visita de reyes. Pero en el siglo XX, cuando Burrell tomó las riendas, no era rentable porque no podía competir con granjas más fértiles. Tanto los sembradíos como la vaquería estaban en ruinas. Las tierras (320 metros de arcilla sobre un lecho de roca caliza en la sección transversal) eran, en palabras de Isabella Tree, la esposa de Burrell, «cemento en verano y gachas en invierno». Los campos cultivables se habían arado hasta el infinito e inundado de fertilizantes, herbicidas y pesticidas. Burrell y Tree hicieron al principio lo que muchos agricultores de hoy en día aún siguen haciendo: utilizar más abonos, pesticidas y fungicidas para incrementar la productividad de la granja. También trataron de diversificar, invirtieron en infraestructura y maquinaria nueva, probaron nuevas variedades de cosechas... pero, tras doce años de trabajo duro, la granja seguía sin ser rentable. No les quedaban muchas opciones, de modo que vendieron las vacas y el equipamiento para pagar las deudas y dejaron de cultivar la tierra.

Aun así, se la quedaron. Tenían la vaga idea de que quizá podrían restaurar el ecosistema natural. Cerca de allí, Repton Park se había cultivado durante la Segunda Guerra Mundial, en la campaña «Dig for Victory», para proporcionar alimentos a la población de Gran Bretaña.

El primer paso fue la restauración, proyecto para el que recibieron fondos del Countryside Stewardship Scheme. Con ese capital compraron semillas de flores silvestres de Low Weald y empezaron a sembrarlas en la zona. «Me acuerdo de aquel primer año. Cuando salía por la puerta, las flores me llegaban a la rodilla, y por doquier se oía el sonido maravilloso de los insectos —explicó Tree—. No sabíamos que era eso lo que nos faltaba. Y detrás de los insectos volvieron los pájaros.» Los siglos de empobrecimiento de la tierra, arado, uso intensivo de abonos y pesticidas artificiales tras la Segunda Guerra Mundial habían acabado con casi toda la vida en los campos de Inglaterra a excepción de los monocultivos. La gente se había olvidado de cuántos insectos solía haber en la campiña inglesa. «Cuando era niña, en los años setenta, en Dorset había que poner los limpiaparabrisas del coche para quitar los insectos —me comentó Tree —. Ya no es así. Solo sucede en zonas muy concretas, como Knepp.»

Aquello no fue más que el comienzo de su experiencia de resilvestración. Habían oído hablar de Frans Vera, un ecologista holandés que tenía ciertas teorías sobre cómo habían sido las tierras bajas de Europa cuando abundaban los herbívoros grandes. En el pasado tuvimos uros (bovinos), tarpanes (caballos salvajes) y bisontes europeos, todos los cuales aparecen en las pinturas de las cuevas prehistóricas. Todos se habían extinguido a excepción del bisonte, que sobrevivió milagrosamente en cautividad después de que el hombre matara a los últimos ejemplares libres en los años veinte del siglo pasado, y que ahora se está reintroduciendo gracias a varios proyectos de resilvestración en toda Europa.

En el pasado hubo otros herbívoros: ciervos, alces, jabalís, millones de castores, hasta osos pardos. No los llevamos a la extinción, aunque la caza de alces, castores y osos fue excesiva. El vasto número de ejemplares de estos animales que hubo en el pasado debió de tener un efecto importante sobre la estructura de los ecosistemas europeos de tierras bajas.

Burrell y Tree estaban muy interesados en resilvestrar Knepp con animales así. No podían recuperar las especies antiguas, en plan *Jurassic Park*, pero consiguieron especies actuales capaces de desempeñar en el ecosistema una función semejante a la de los herbívoros salvajes: animales de pasto que, como dijo Isabella, «hicieran el papel de los animales que tanto abundaron en nuestros

parajes en un pasado lejano». De modo que introdujeron cornilargos en lugar de uros, ponis Exmoor en lugar de tarpanes, cerdos Tamworth en vez de jabalís salvajes, así como ciervos comunes y gamos (ya había corzos, aunque escasos). Estos animales representaban una combinación de diferentes preferencias y hábitos alimentarios: había diversidad. No sabemos cuántas especies de plantas consumen los cornilargos, pero el ganado, en general, puede transportar más de doscientos treinta tipos de semillas en el aparato digestivo, los cascos y el pelo: comen en un lugar, defecan en otro, y las semillas, con el abundante abono, reciben un buen empujón inicial. El ganado no come cardos, pero a los ponis les encantan, y también son capaces de digerir hierbas más duras. Los cerdos hozan en busca de raíces, tubérculos, gusanos y otros invertebrados, con lo que oxigenan la tierra.

«Aquí nos hemos limitado a soltar el volante y dejar que la naturaleza tome el mando», dijo Tree. Y la naturaleza tomó el mando, vaya si lo tomó. Los nuevos herbívoros ejercieron una amplia variedad de funciones en el ecosistema, con lo que los campos uniformes y empobrecidos de la granja se convirtieron en un mosaico inmensamente superior de hábitats: praderas irrigadas, matorrales de espinos que protegían a los árboles jóvenes, bosquecillos de sauces, árboles muertos que eran el hábitat de muchos animales... El territorio de los ruiseñores en la granja se multiplicó por tres en una década. También creció el número de tórtolas, que estaban abocadas a la extinción en Gran Bretaña. En menos de un año, el número de hespéridos creció en un 1.100 por ciento. Los insectos regresaron, y tras ellos, los pájaros pequeños que se los comían, lo que trajo de vuelta a los depredadores. En Knepp hay ahora nidos de halcón peregrino, y en sus terrenos se encuentran ejemplares de los cinco tipos de búho británico. Los búhos que nacen allí crecen sin problemas. Se alimentan de los escarabajos peloteros que hay en las heces del ganado, solo que esas heces ya no contienen pesticidas ni medicamentos, omnipresentes en las granjas lecheras habituales. Antes, los pesticidas y antibióticos que se administraban al ganado acababan en sus excrementos, con lo que mataban a todos los insectos.

Burrell y Tree dejaron que la naturaleza tomara el mando y restableciera un ecosistema salvaje. Lo único que controlan es el número de herbívoros, porque no tienen depredadores naturales que

impidan que la población crezca hasta diezmar la vegetación y empezar a pasar hambre. Parece ser que al último lobo de Inglaterra lo mataron en 1390, y al último de las islas británicas, en 1680, en Escocia. Así que, en lugar de controlar la población de herbívoros con un depredador de alto nivel, lo que resultaría peligroso en una zona tan habitada como el sur de Inglaterra, Burrell y Tree se encargan de ello y venden la carne a nivel local, aunque también hacen envíos. Es conservación, y es un negocio.

Por si fueran pocos los beneficios, Burrell y Tree organizan safaris en Knepp, y ofrecen a los visitantes lo que han denominado «microaventuras». Los turistas, sobre todo los observadores de aves (y en Gran Bretaña hay muchos) acuden a Knepp para ver aquello que ha desaparecido en otras partes. «Es un negocio sostenible —dice Burrell —. Gracias a los safaris, los ingresos son muy superiores a los que teníamos cuando esto era una granja comercial.»

La resilvestración ha reactivado el negocio, pero también el paisaje, y es una transformación que tiene consecuencias importantes para el planeta. La nueva diversidad de vegetación y la tierra saludable retienen el agua tras la lluvia. Las plantas de Knepp contribuyen a reducir el riesgo de inundaciones y de pérdida de infraestructuras. Hay más materia vegetal y heces de animales, además de abundantes lombrices, escarabajos peloteros y todos los demás invertebrados que digieren los excrementos, y esto, junto con el pasto y el movimiento de los herbívoros, estimula las raíces subterráneas y el crecimiento de la vegetación. Todo se combina para crear un terreno saludable lleno de glomalina, ese potente secuestrador de carbono que se vincula sobre todo a la micorriza fúngica. Esta micorriza fúngica se ha triplicado en las tierras de Knepp tras el proceso de resilvestración de Burrell y Tree; la biota y el carbono del suelo se han duplicado. La tierra, enriquecida con abundante materia orgánica, captura más carbono, le devuelve su condición de sumidero de carbono.

No obstante, Burrell y Tree no devolvieron Knepp a su estado previo a la humanidad. Las tierras están cerca del aeropuerto de Gatwick, rodeadas de carreteras. El suelo lleva casi setenta años recibiendo aditivos químicos, ha sido arado durante siglos. Todo esto no se puede deshacer en una sola generación. Pero lo que sí podemos hacer es utilizar lo que sabemos sobre los ecosistemas prístinos, que

cada vez es más, para tomar decisiones a la hora de restaurar los ecosistemas de hoy en día. Podemos utilizar las herramientas de las que disponemos —la megafauna que queda, los principios de la hidrología, la reintroducción de plantas y animales...— para crear ecosistemas nuevos con condiciones y especies que nunca hemos visto, pero que se acercan a la madurez sucesional que les proporciona resistencia a la agresión humana. No siempre se trata de volver a un ecosistema prehumano. Lo importante es ayudarlo a funcionar, a madurar. La resilvestración se centra en el futuro, no en el pasado.

Imaginemos que estos cambios se pudieran llevar a cabo una y otra vez, por todo el planeta. Y si la agricultura de monocultivos se cambiara por prácticas regenerativas que contribuyeran a devolver la salud a la tierra, en lugar de deteriorarla, se crearían potentes sumideros de carbono que ayudarían a reducir el calentamiento global. Un estudio reciente apunta a que las prácticas agrícolas mitigantes lograrían una reducción de la temperatura global del 25 por ciento de la meta de 2 °C marcada por el Acuerdo de París sobre el cambio climático.

La resilvestración ha demostrado su eficacia a la hora de recuperar funciones ecológicas que se habían perdido y de acelerar la sucesión ecológica, pero debemos tener cuidado a la hora de reintroducir especies. Burrell y Tree acertaron al introducir especies con funciones similares a las de los animales que poblaron sus tierras antes de la llegada del ser humano, pero no todas las especies que parecen semejantes hacen lo mismo. Vamos a centrarnos de nuevo en Yellowstone, pero en esta ocasión veremos un ejemplo de ecosistema destruido por la introducción errónea de una especie.

El presidente Theodore Roosevelt es un icono de la conservación en Estados Unidos. Entre 1901 y 1909 creó 150 bosques nacionales, 51 reservas federales de aves, 4 reservas nacionales de animales, 5 parques nacionales y 18 monumentos nacionales, hasta un total de más de doscientos treinta millones de acres de espacios públicos protegidos. También firmó el Acta de Antigüedades en 1906, que desde entonces da poder a los presidentes de Estados Unidos para

otorgar la categoría de monumento nacional a lugares de importancia histórica o natural que haya que proteger. Aunque resulte irónico, pese a este extraordinario historial de protección de la naturaleza en su país, Roosevelt era muy aficionado a la caza mayor, y se sabe que en un safari en África Oriental mató 296 animales salvajes, entre ellos 17 leones. Su hijo Kermit mató 216 en aquel mismo viaje.

Como cazador entusiasta, Roosevelt pensaba que el disfrute de la naturaleza por parte del hombre blanco era más importante que la salud del ecosistema, o tal vez ni siquiera veía la relación. Pocos la veían por aquel entonces. Para que los turistas disfrutaran más de la pesca, promovió la introducción de especies grandes en los lagos del oeste del país. Esta filosofía, probablemente llena de buenas intenciones, hizo mucho daño al parque nacional de Yellowstone noventa años más tarde.

Solo hay una especie de la familia de la trucha, los salmónidos, nativa del lago Yellowstone: la trucha degollada. Se calcula que en los años setenta había allí 3,5 millones de especímenes, así que era el pez depredador dominante en el lago. Estas truchas viven en aguas poco profundas y se alimentan sobre todo de pulgas de agua, que miden apenas unos milímetros, pero aun así son más grandes que la mayor parte del plancton del lago. Las pulgas de agua se alimentan de unos crustáceos diminutos, los copépodos, y los copépodos comen algas, con lo que mantienen la población de algas microscópicas (el fitoplancton) del lago en equilibrio y lo hacen productivo. A su vez, la trucha degollada sirve de alimento a las nutrias, los osos, las águilas calvas y las águilas pescadoras. En la temporada de desove, la trucha degollada migra del lago a los afluentes, con lo que realiza un transporte de nutrientes.

En 1994 se avistaron por primera vez especímenes de trucha lacustre, que no es nativa de Yellowstone. Los pescadores habían introducido la especie de manera ilegal en un lago cercano durante los años ochenta para mejorar la pesca deportiva en la zona. Resultó ser un ejemplo claro de resilvestración desencaminada, todo debido a la miope creencia de que el hombre tiene derecho a dominar la naturaleza.

La población de trucha lacustre se disparó y la de trucha degollada cayó en picado, más de un 90 por ciento en 2012. El pez destinado a la pesca deportiva se había convertido en una especie

invasora, un depredador de máximo nivel que había devorado a la trucha degollada. Los encargados de parques nacionales se apresuraron a poner en marcha un programa utilizando trasmallos (un tipo de redes) para sacar la especie invasora del lago Yellowstone, y consiguieron retirar más de un millón de ejemplares entre 1998 y 2012. Pero eso no impidió que la especie introducida creciera en número de manera exponencial: en 1998 había 125.000 ejemplares adultos; en 2012 eran ya 953.000.

La introducción de la trucha lacustre y el declive de la degollada, el depredador nativo, provocaron cascadas tróficas dentro y fuera del lago. Dentro, sin el control de la trucha degollada, la abundancia de pulgas de agua se disparó y acabaron con los copépodos pequeños. Los copépodos grandes, los que tenían un tamaño excesivo para las pulgas de agua, crecieron en número y devoraron a su vez más fitoplancton. Al haber menos fitoplancton, la productividad primaria del lago, la base de la red alimentaria, entró en crisis y afectó a toda la parte superior. Y la trucha lacustre vive en aguas más profundas que la degollada, así no podía ser presa de los osos, las nutrias y las aves acuáticas, entre ellas el águila pescadora y otros tipos de águilas. Los indicadores empezaron a mostrar el declive de estas especies. En 1997 había 38 nidos de águilas pescadoras en el lago de Yellowstone; en 2017 solo quedaban tres. A finales de los ochenta, los osos pardos capturaban más de veinte mil truchas degolladas al año en los afluentes del lago; a finales de la primera década del siglo XXI, esa cifra se había reducido a trescientas. En 2008 se calculó que la abundancia de nutrias estaba en el punto más bajo de la historia.

Una sola especie, añadida con el único objetivo de entretener al ser humano, provocó una cascada trófica que tuvo repercusiones en todo el ecosistema del lago Yellowstone, desde el fitoplancton microscópico hasta los mamíferos grandes como nutrias y osos. Se ha hecho un esfuerzo gigantesco por reducir la abundancia de la trucha lacustre en Yellowstone. En 2017, entre mayo y septiembre, se colocaron más de nueve mil doscientos kilómetros de trasmallos. Es la distancia que hay entre Nueva York y El Cairo en línea recta. Fue un esfuerzo ímprobo. Las capturas de trucha lacustre empezaron a bajar, y algunos expertos opinan que hemos alcanzado un punto de inflexión. La erradicación completa de la trucha lacustre se considera imposible, pero el trabajo continuado acabará por reducir su

población y es de esperar que la trucha degollada se recupere. Y no podemos bajar la guardia. Hay que aprender la lección: la resilvestración requiere cautela.

Resilvestrar con las especies correctas (herbívoros o carnívoros locales) y en el momento preciso puede regenerar funciones ecológicas que habíamos perdido, como el pasto natural o la acción de los depredadores. En las condiciones ideales puede recuperar un ecosistema entero. Si tenemos una zona protegida donde solo falta el depredador clave, la reintroducción de este puede acelerar la sucesión ecológica y devolver al ecosistema la complejidad y la madurez. Las especies adecuadas son capaces de poner en marcha el proceso de recuperación de una granja industrial moribunda y convertirla en un ecosistema sano, maduro y productivo. Por el contrario, la introducción de especies no nativas probablemente siembre el caos dentro de un ecosistema. La introducción de especies indebidas en una zona protegida puede destruir todo lo conseguido gracias a la protección.

Nuestro mundo se ha vuelto menos silvestre porque hemos transformado unos ecosistemas intactos en sembradíos, pastizales, cotos de caza y pesca, y ciudades. La pérdida de estos lugares vírgenes ha conllevado la pérdida de los beneficios que nos aportaban, como la protección contra inundaciones, la filtración del agua, el aire limpio y la tierra fértil. La resilvestración puede contribuir a recuperar algunas de esas cosas, pero quizá el valor de esta recuperación no deba medirse solo en función de los intereses del ser humano. ¿No hay motivos más importantes para detener esta constante agresión contra el mundo natural? ¿No hay razones más profundas que deberían llevarnos a resilvestrar con inteligencia, a proteger y conservar las zonas vírgenes? Dicho de otra manera, ¿cómo y por qué deberíamos valorar el mundo natural?

12

El imperativo moral

Seguro que al lector le ha pasado esto: quedarse parado ante un cuadro de un museo, atrapado por una cualidad inesperada que lo atrae, lo hace sonreír, o llorar, o sentir escalofríos, pero sin saber explicarlo. Tal vez sea la paleta de colores, o las imágenes que representa, o la atmósfera etérea, o la energía del cuadro en sí. ¿Es imprescindible entender la pintura para quedarse allí hipnotizado, boquiabierto? ¿Y no hemos experimentado la misma sensación de asombro y maravilla ante un paisaje natural? ¿Ante un campo de girasoles? ¿Ante un lago bordeado de árboles? ¿Ante una cala rodeada de acantilados de piedra roja, coronados por pinos verdes?

Como científico, me he pasado décadas recopilando y analizando datos. Mi trabajo consistía en convertir la estructura y la dinámica de un ecosistema en números y gráficos, que es como bordar en un cojín la complejidad barroca de la naturaleza a golpe de ecuaciones. Pero también sé que mi amor por el mundo natural nació antes de que lo entendiera. De hecho, me interesé en comprenderlo porque ya lo amaba. Y ahora, cuanto más sé sobre el mundo natural, más me doy cuenta de lo que me falta por saber... y más hondo se hace ese amor.

El alma humana alberga en lo más profundo una atracción innata hacia el mundo natural. Esto nos hace buscar el contacto directo con la naturaleza y con las otras formas de vida con las que compartimos este planeta. Ed Wilson, mi colega y a la vez mi héroe, lo llama *biofilia*, palabra que viene del griego y significa «amor a la vida». Lo define como «la necesidad apremiante de relacionarnos con otras formas de vida». Lo llamemos como lo llamemos, todos los niños lo sienten cada día, muchas veces al día. No hay más que verlos cuando están solos y exploran una pradera de flores silvestres y mariposas, o se quedan embobados ante una galaxia de luciérnagas en el bosque, o se dedican a observar cómo los cangrejos se escabullen entre las

piedras de un charco que ha dejado la marea. Todos llevamos dentro el sentido de la maravilla de ese niño.

¿Por qué tenemos esa tendencia a proteger a otras criaturas? ¿Se trata de salvar ese recuerdo de la infancia? ¿Es por empatía con otros seres vivos? Una vez somos adultos, ¿sigue siendo amor o se convierte en un deber moral?

Vamos a centrarnos en las dimensiones morales de la conservación. ¿Qué dicen las religiones del mundo al respecto? Todos los libros sagrados están abiertos a la interpretación, pero hay un tema que tienen en común: las religiones dejan muy claro que no debemos destruir la creación de Dios. En la tradición judía, Dios es el dueño de la tierra y de todo lo que existe, y el ser humano tiene el deber de cuidarlo. «La tierra no se venderá a perpetuidad, porque la tierra mía es; pues vosotros forasteros y extranjeros sois para conmigo» (Levítico 25, 23). Las enseñanzas budistas transmiten el valor de la conservación, en oposición a la destrucción del medioambiente: «Así como la abeja liba en la flor, sin dañar su color y esencia, y luego se aleja, llevándose únicamente la miel, así el sabio pasa por esta existencia» (*Dhammapada* IV, «Pupphavagga: Flores», 49). El sintoísmo se basa en la creencia de que existen espíritus vinculados a las entidades naturales como el agua, las rocas o el viento. Los bosques son sagrados. Los seguidores del sintoísmo deben vivir en armonía y coexistencia pacífica con el resto de los seres humanos y con la naturaleza. Para el islam, el consumo excesivo (Isrāf) ocupa el trigésimo segundo lugar entre los pecados más graves. Cientos de versículos del Corán hablan sobre cuidar el medioambiente, y dicen, por ejemplo, que «no camines por la tierra con arrogancia porque no podrás traspasar la tierra ni alcanzar la altura de las montañas» (Corán, sura XVII, 37). La creación de Dios es inmaculada y se nos ha confiado para que la preservemos.

El cristianismo tiene un mensaje a veces contradictorio. El mundo es obra de Dios, sí, y por tanto hay que cuidarlo, pero algunos pasajes del Génesis sugieren que el hombre, hecho a imagen y semejanza de Dios, debe dominar la Tierra. Este concepto del hombre como amo que aparece en la Biblia cristiana puede deberse a la ambigüedad del texto o a interpretaciones interesadas, y los mensajes cristianos más recientes ponen el acento en la conservación y en el mandato moral de cuidar, no dominar, la creación divina. El papa Francisco ha ejercido

una gran influencia al respecto, sobre todo con su segunda encíclica, *Laudato si*, publicada en 2015 antes de la histórica convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático de París. El papa Francisco escribió: «Si es verdad que algunas veces los cristianos hemos interpretado incorrectamente las Escrituras, hoy debemos rechazar con fuerza que, del hecho de ser creados a imagen de Dios y del mandato de dominar la Tierra, se deduzca un dominio absoluto sobre las demás criaturas». En palabras de Francisco, la Biblia nos dice que cada criatura tiene su propia función, que «ninguna es superflua». El universo material nos habla del infinito amor de Dios hacia nosotros. Dice el papa que «el suelo, el agua, las montañas, todo es caricia de Dios». Por tanto, la destrucción caprichosa del universo material es un pecado, es rechazar el amor de Dios.

Mi amigo Carl Safina lo expresa muy bien: «Ninguna religión ha predicado jamás que nuestra función en el mundo sea destruir, dejar a los que nos siguen menos de lo que nos encontramos al llegar. No hay tradición que enseñe que es correcto que una sola generación lleve el planeta a la ruina. Lo que sí nos dicen es que tenemos que llevar el timón del arca para conducirla a buen puerto». En otras palabras: las religiones nos dicen que cuidemos de la creación.

Hubo sociedades antiguas, como la maya o la pascuense, que se derrumbaron en parte debido al uso excesivo del mundo natural que los rodeaba, pero la mayoría de los grupos indígenas han vivido durante milenios en su entorno de manera sostenible. Se suelen ver como parte de la naturaleza, no como sus amos. En algunos casos mantienen el ritual de pedir perdón al matar a otro habitante de la Tierra para alimentarse. Muchos otorgan un valor sagrado a formaciones naturales como montañas, ríos o manantiales.

Ha habido un caso judicial muy reciente que ha llamado la atención del mundo entero. En 2017, las tribus maorís de la isla Norte, en Nueva Zelanda, consiguieron que se otorgara estatus de persona jurídica al río Whanganui, que se lo reconociera como su antepasado y dispusiera de los mismos derechos que un ser humano. «Podemos seguir el rastro de nuestra genealogía hasta los orígenes del universo

—dijo Gerrard Albert, un dirigente maorí de la zona—. Por tanto, no somos los amos del mundo natural, sino parte de él. Queremos que ese sea nuestro punto de partida en la vida.» Poco después, otros dos casos judiciales siguieron el precedente, y el Parlamento neozelandés otorgó derechos similares a una zona de 2.100 kilómetros cuadrados, el parque nacional de Te Urewera, y a una montaña.

La ciencia de la ecología nos enseña que los ecosistemas están formados por una comunidad de seres que interactúan y el lugar en el que viven. Cada criatura tiene una función diferente, pero el ecosistema es la combinación de todos los seres que lo pueblan y las interacciones dinámicas que se establecen entre ellos. El todo no existiría sin las partes. Por tanto, toda criatura tiene un valor intrínseco, porque pertenece a la constitución de nuestra biosfera.

Quizá haya alguna manera científica de calcular el valor de la naturaleza, pero yo creo que ese amor profundo que sentimos aunque no sepamos expresarlo, la biofilia, es la mejor respuesta a la pregunta de por qué debemos cuidar del mundo natural que cualquier constructo racional.

El amor es lo que el equipo Pristine Seas de National Geographic ha utilizado para inspirar a los líderes del mundo al objeto de que protejan algunas zonas vírgenes del océano. Este es el relato de cómo lo hemos hecho.

La enseñanza reglada nos dice que debemos ser racionales, que el cerebro tiene que dominar los sentimientos y los valores. Damos por hecho que, si una persona cuenta con la información necesaria, tomará la decisión acertada. Publicamos nuestras investigaciones en revistas revisadas por homólogos. Es nuestro trabajo. Yo creí que los políticos serían conscientes de las conclusiones a las que habíamos llegado y actuarían en consecuencia. Estaba encerrado en una torre de marfil, encantado de la vida, con la ilusión académica de que les correspondía a otros comprender las implicaciones de nuestros hallazgos y emprender acciones en el mundo real. ¿Para qué iba a molestarme en hacer un esfuerzo adicional y explicar lo que habíamos averiguado, lo que significaba, su importancia? ¿Por qué iba yo a

hacer nada?

Estaba muy equivocado.

Por suerte, conté con las enseñanzas y la guía de ecologistas que pensaban que el estudio del mundo natural tiene más que ver con la poesía que con la ingeniería, y también con la ayuda de comunicadores que me enseñaron por qué tenía que hacer que mis investigaciones fueran relevantes para la sociedad, así como a transmitir la información a las personas clave. Fueron los conocimientos que apliqué en el desarrollo de Pristine Seas. Cuando entré en la Sociedad National Geographic, aprendí el secreto de cómo inspirar a los dirigentes para que se comprometieran con la protección de lugares naturales: había que hacer que se enamoraran de ellos.

En octubre de 2012 hicimos una expedición de Pristine Seas a las orillas de Gabón, un país de África Occidental con un 80 por ciento de su superficie ocupada por selvas tropicales y largas playas deshabitadas donde tienen nidos tortugas marinas casi extintas mientras los hipopótamos se bañan en las olas del océano Atlántico. Nos habían invitado Lee White, por aquel entonces el director de la agencia de parques nacionales de Gabón, y Mike Fay, compañero explorador de National Geographic que en 1999 había recorrido a pie más de tres mil kilómetros a través de los bosques vírgenes de África Occidental, desde el Congo hasta las playas de Gabón. Este recorrido épico, el Megatransect, llevó a la creación de trece parques nacionales en Gabón. Exploramos las aguas cercanas a las costas y pasamos tres semanas a bordo del barco de la expedición, el *Plan B*, que era la contribución al proyecto de mi querido amigo Ted Waitt, presidente de la Fundación Waitt. Hicimos inmersiones en aguas tan turbias que no nos veíamos las aletas. Exploramos barcos hundidos donde se refugiaban meros gigantes de dos metros de largo. Buceamos bajo plataformas petrolíferas donde abundaban los bancos de peces grandes, como atunes y barracudas, mientras escuchábamos el canto hipnótico de las ballenas jorobadas bajo el agua. Lee y Mike consiguieron convencer a Ali Bongo Ondimba, presidente de Gabón, para que subiera a bordo con nosotros y viera lo que habíamos descubierto. El presidente fue a vernos el último día de la expedición, cuando el *Plan B* estaba anclado en aguas con una profundidad de más de cien metros, sobre una plataforma submarina en la zona norte de las aguas territoriales del país.

Hice una presentación con fotos y vídeos cortos. El presidente Bongo Ondimba escuchó y miró con atención, y luego charló un rato con nosotros, pero antes de una hora lo vi mirar el reloj y temí que hubiéramos perdido su interés. Luego lo invitamos a pilotar el vehículo operado a distancia (ROV, por sus siglas en inglés) del *Plan B*. Era un robot sumergible ligado al barco, equipado con una cámara que permitía observar el mundo submarino en tiempo real. Aquello despertó de nuevo su interés. Se sentó ante la consola de mandos del ROV y observó la pantalla mientras lo manipulaba como si fuera un videojuego. El ROV llegó a la plataforma, a 100 metros de profundidad. Arena. Y más arena. Allí no había nada emocionante. Mis temores se multiplicaron.

Pero entonces cambió de dirección y movió el ROV hacia el borde de la plataforma. Una forma oscura apareció a lo lejos. A medida que la cámara se acercaba, la forma se materializó: era una roca oscura llena de grietas y agujeros, hogar de miles de ofiuras, semejantes a estrellas de mar, que cubrían la superficie y agitaban los brazos para capturar alimento en el agua. Vimos docenas de peces escorpión de 30 centímetros de largo con manchas rojas y blancas, las aletas dorsales erguidas, en el lecho del océano. Sobre los peces escorpión nadaban cientos de antias con su tono naranja vivo y pececillos de colores con largas aletas pectorales. Nos quedamos todos pegados a la pantalla. Le pedimos al presidente que posara el ROV en la arena para poder disfrutar del espectáculo. No pasó ni un minuto antes de que apareciera una cabeza enorme de ojos redondos que se acercaba cada vez más. Era un mero dentón, atraído por el reflejo de su propia imagen en la lente de la cámara. Tenía el tamaño de una bicicleta, la inconfundible boca fruncida, las tres franjas negras que irradiaban de cada ojo. El mero se detuvo ante la cámara. Luego se acercó otro, y otro más. Acabamos teniendo cinco meros dentones mirando a la cámara, como animales paralizados ante los faros de un coche. Igual de paralizados que estábamos nosotros. Miré al presidente y supe que se había enamorado del mundo submarino de su propio país, de una maravilla natural que no sabía ni que existía.

El plan había dado resultado. En el camino de vuelta a Libreville, la capital, el presidente Bongo Ondimba les dijo a Mike y a Lee que había comprendido la necesidad de proteger aquellas aguas. Creó una red de zonas marinas protegidas que no solo preservarían la

biodiversidad de las aguas de Gabón, sino que también serían el motor para reabastecer las pesquerías cercanas. Hoy en día esa red cuenta con veinte zonas marinas protegidas que cubren una superficie de 46.000 kilómetros cuadrados, el 28 por ciento de las aguas territoriales de Gabón. Es la primera vez que se hace algo así en África, y al mismo tiempo un ejemplo para todo el mundo.

Esta historia de Gabón es habitual para Pristine Seas. Cuando trabamos contacto con los dirigentes de un país no entramos en temas intelectuales. No les presentamos los datos ni hablamos de debates en revistas académicas donde se discuten las minucias. Nunca empezamos por la cabeza. Vamos directos al corazón, y para eso lo mejor es llevar al dirigente en cuestión al terreno. Hemos llevado a jefes de Gobierno y a ministros de medioambiente a bucear en medio de barracudas plateadas. Los hemos metido en submarinos para que exploren la zona batial o crepuscular, a 300 metros de profundidad. Todos salen con una sonrisa casi infantil, enamorados de la naturaleza. Si tienen una agenda demasiado apretada como para llevarlos a los lugares en cuestión, les llevamos esos lugares a casa. Un casco con vídeo de 360° permitió que el presidente de Ecuador experimentara una inmersión virtual entre tiburones martillo. Un simple vídeo de dos minutos en mi tableta hizo que la ministra francesa de Medioambiente, Ségolène Royal, se enamorara de un diminuto atolón de coral propiedad de Francia en la zona tropical oriental del Pacífico y tomara la decisión de protegerlo.

Ese sentido de la maravilla es lo que hace que la gente se enamore del mundo natural y se involucre en su protección hasta niveles que nunca habían imaginado. Los estudios científicos y los análisis económicos solo los presentamos después de ofrecer esa experiencia a las personas que toman las decisiones, para explicarles por qué es imprescindible proteger estos lugares. Los dirigentes al final van a necesitar los hechos para explicar los beneficios de la conservación por encima de la inercia actual, y para tranquilizar al ministro de Economía y a la industria pesquera, asegurándoles que la protección del océano tiene toda la lógica. Pero el amor y la fascinación tienen que ir en primer lugar. Una vez se enamoran de la naturaleza, los dirigentes sienten a nivel intuitivo la responsabilidad de proteger estos lugares. Entienden que es su imperativo moral.

¿De qué sirven todas las criaturas de la Tierra y los ecosistemas que forman? Bacterias, arqueas, levaduras, hongos, esponjas, medusas, diatomeas, cladóceros, pulgas de agua, braquiópodos, corales, caracoles, almejas, ctenóforos, ascidias, nematodos, quinorrincos, escarabajos, moscas, abejas, mariposas, arañas, gusanos, ungulados, langostas, quetognatos, camarones, tortugas, erizos de mar, cocodrilos, pepinos de mar, crinoideos, cangrejos, serpientes, sipúnculos, estrellas de mar, tortugas marinas, aves, reptiles, peces, ranas, salamandras, mamíferos, algas, helechos, plantas florales... ¿Cuál es su valor? Antes se pensaba que la biodiversidad tenía un valor intrínseco, pero esta creencia ha perdido fuerza desde que todo se centra en el valor instrumental. Y no son solo los expertos en economía industrial; los propios ecologistas, al pedir mayor control medioambiental, tienden a centrar la argumentación en los beneficios y servicios que los ecosistemas proporcionan. Yo también lo he hecho, siento decirlo. Cuando se trata del mundo natural, ¿es posible que el asombro, la admiración y el amor tengan más peso que la economía?

Pues lo cierto es que la preservación de la naturaleza se puede defender hasta con los argumentos económicos más fríos.

13

Naturaleza y economía

En abril de 2018 reuní un equipo de estrellas de la ciencia y la economía en la Sociedad National Geographic, de Washington, D.C. Teníamos como objetivo organizar por prioridad las zonas del océano que había que proteger, en aquel momento y en el futuro. Los intentos anteriores de identificar las prioridades en la conservación a nivel global se habían centrado en la biodiversidad, sin prestar atención al resto de las posibilidades del océano, como el turismo, la pesca o la extracción petrolífera, con lo que se daba la impresión de que la decisión implicaba renuncias, un enfrentamiento entre la producción, es decir, la explotación de los recursos naturales, y la protección. Es decir, se daba por hecho que proteger una zona de actividades extractivas conllevaba sí o sí una pérdida económica irreparable. Como consecuencia, la mayoría de los intentos de identificar las prioridades en el tema de la conservación se quedaban en meros ejercicios académicos, con recomendaciones que rara vez se implementaban en el mundo real.

Teníamos que dar con la manera de conservar la biodiversidad del océano y, al mismo tiempo, alcanzar otros objetivos que respondieran a los desafíos más importantes a los que se enfrenta la sociedad. Pero, antes que nada, era necesario derribar el muro imaginario que se alzaba entre producción y protección. Había que comprender por qué la utilización extractiva y destructiva era la prevalente en un mundo que prioriza el crecimiento económico. Teníamos que poner a prueba las preconcepciones de los dirigentes sobre la biodiversidad.

En la pasada década, mis colegas y yo nos hemos reunido con presidentes, primeros ministros y ministros de medioambiente para intentar que protejan algunas de las zonas más increíbles del océano. Y no falla, la conversación siempre llega a dos preguntas: ¿qué pasa

con la industria pesquera?, ¿una zona protegida afectará a su modelo de negocio? Lo que asusta a estos dirigentes es el llamado costo de oportunidad, sin importar la sostenibilidad futura de la actividad presente. Es la razón principal de que no tengamos ya más zonas protegidas. No es porque no haya justificación científica, no es porque no haya un interés público. Es por el coste percibido del cese de actividades extractivas importantes, ya sea la tala forestal, la agricultura en las llanuras o la pesca en el mar. Los grupos de presión de las industrias tienen una estrategia que utilizan con éxito una y otra vez para asustar a los Gobiernos sobre el demoledor impacto económico que tendría una mayor protección del mundo natural.

Un ejemplo típico de estas hipérboles tuvo lugar en 2017, cuando solicitamos al Gobierno de México que protegiera una zona de 150.000 kilómetros cuadrados en el Pacífico, alrededor del archipiélago Revillagigedo, al sur de Baja California. Los representantes de la industria atunera de México afirmaron que la mayor parte de sus capturas se producían en aquella zona; que establecer protecciones hundiría el negocio y dejaría a miles de familias en el paro; peor aún, provocaría problemas en el abastecimiento de atún, lo que llevaría a un incremento del precio de la lata y provocaría revueltas públicas. Era imposible que el Gobierno mexicano aceptara en esas condiciones.

No era la primera vez que escuchábamos exageraciones carentes de base como aquellas, pero teníamos datos que desmentían sus afirmaciones. En primer lugar, el atún es una especie migratoria. Nada largas distancias durante todo el año, así que siempre podían capturar en otro lugar los que no pescaran en las islas Revillagigedo. Además, según los datos de satélite de los transpondedores que son obligatorios en todos los barcos atuneros, la flota mexicana capturaba en aquella zona menos del 4 por ciento del total de sus atunes. De hecho, a raíz de la información recogida, tres cuartas partes de sus capturas se realizaban en aguas internacionales, fuera de la jurisdicción de México. De modo que desvelamos sus mentiras, y luego pasamos a demostrarles, con los descubrimientos de los que he hablado en este libro, que la reserva favorecería la biodiversidad marina y no afectaría a su cuenta de beneficios. Porque al final siempre es el mismo tema: las cuentas de beneficios. En mi experiencia, el 95 por ciento de las veces, la primera pregunta que hará el ministro de Economía cuando

hablemos sobre crear una zona protegida es: «¿Cuánto cuesta esto?».

El argumento moral para la defensa del mundo natural es evidente. El argumento de la supervivencia del ser humano es aún más poderoso, porque la pérdida de servicios que nos presta el ecosistema llevará a la extinción humana a nivel global. Si tenemos eso en cuenta, el valor del mundo natural es infinito. Pero el argumento económico tradicional, el que presupone que si hay ganancias por un lado habrá pérdidas por otro, es el que domina la gestión hoy en día. Se debe en parte a que los ciclos políticos son mucho más breves que los ciclos ecológicos. La primera norma de la política es conseguir la reelección, así que los beneficios a corto plazo derrotan a los que solo se verán a largo plazo. El mantra de las corporaciones públicas, sobre todo las que influyen en la toma de decisiones sobre las crisis ecológica y climática, es el «valor para el accionista», que también es cortoplacista: rentabilidad trimestral para las compañías y los inversores, crecimiento anual del PIB para los países... Esos son los becerros de oro que tenemos en la actualidad. Todo lo demás, incluso el bienestar del ser humano, es secundario. Los ministros de economía suelen centrarse en el costo de oportunidad de la conservación, es decir, en la pérdida de ingresos por la pesca o la tala, y en el precio de gestionar una zona protegida. Todo eso configura una reducción de ingresos que el Gobierno tendrá que compensar.

Pero ¿no es posible que los beneficios de la protección superen a los costes?

Los mangles son unos árboles asombrosos. Han desarrollado una habilidad única: vivir en el agua del mar, con lo que crecen en muchas costas tropicales de todo el mundo. En su estado natural, los mangles desarrollan un complejo sistema de raíces, un auténtico laberinto que proporciona refugio a muchas especies de peces y, además, es el hábitat de otras, como por ejemplo las ostras que consumimos los seres humanos. Mi colega Octavio Aburto hizo la tesis doctoral bajo mi supervisión en el Instituto Scripps de Oceanografía acerca de estos ecosistemas, los manglares del golfo de México en California, y llegó a conclusiones fascinantes desde el punto de vista económico.

Las costas de Baja California son un desierto salpicado de manglares. A finales de los años noventa, nadando en los manglares, nos dimos cuenta de que la intrincada red de raíces era el hábitat principal para los pargos más jóvenes. Los estudios de Octavio mostraron que los pargos pasaban su primer año de vida en los manglares. Una vez alcanzaban un tamaño que los protegía de la mayoría de los depredadores, migraban a zonas de alimentación y reproducción en las costas rocosas más cercanas. Octavio invirtió muchos meses en visitar los manglares de la península para contar y medir los pargos, y calcular la distancia que recorrían tras dejar los manglares. También midió la abundancia de pargos adultos que capturaban los pescadores locales a diferentes distancias de los manglares, y correlacionó la abundancia con la distancia. Sus datos revelaron que cada hectárea de manglares producía peces comerciales con un valor económico medio de 37.500 dólares al año. En contraste, la Comisión Nacional Forestal de México había determinado en 2006 que la destrucción de una hectárea de manglares para hacer un criadero de gambas solo supondría unas pérdidas de 1.020 dólares por hectárea.

No sé quién decide el escaso valor de los manglares en el Gobierno mexicano, pero es obvio que no conocen su función como cobijo para los peces pequeños. Su cálculo es treinta veces inferior al de Octavio.

Pero los servicios que proporcionan los manglares no se limitan al apoyo que dan a la industria pesquera. Los bosques de mangles capturan una ingente cantidad de sedimentos. De hecho, secuestran diez veces más carbono por hectárea que las selvas tropicales, con lo que son un potente motor para mitigar el cambio climático. También ofrecen protección contra las olas causadas por los ciclones tropicales. En el devastador tsunami asiático de 2004, las zonas que se encontraban detrás de los manglares sufrieron menos daños que aquellas donde los habían talado. Y puede que haya otros beneficios que aún no conocemos para el ecosistema. Sin embargo, para quienes ignoran todo esto, los manglares no son más que un semillero de mosquitos y no pasa nada por destruirlos en nombre del desarrollo costero.

Los criaderos de gambas son probablemente la causa principal de la pérdida de manglares en el sudeste asiático. Se talan los mangles y

se excava el suelo para crear estanques que oscilan en tamaño, desde los que son como un campo de fútbol hasta los de un kilómetro cuadrado, y se llenan con agua de mar. Pero las actuales prácticas de cría hacen que, en tan solo cinco años, el agua sea demasiado salina y tóxica, así que hay que tener en cuenta el factor tiempo en la ecuación económica. Los economistas calculan el «valor actual neto», el valor en el momento presente de los futuros flujos de caja de un proyecto, considerando el desembolso de la inversión inicial, el riesgo y dando por hecho que cada dólar que se recibe se puede invertir para que genere intereses, de modo que tendrá más valor que ese mismo dólar recibido dentro de unos años. El valor actual neto de los beneficios de la operación en los cinco años de vida operativa de un criadero de gambas en el sur de Tailandia es de unos 8.000 dólares por hectárea, pero si se tiene en cuenta el costo que genera la contaminación del agua, el total se reduce a tan solo 200 dólares. En comparación, cada hectárea de manglar virgen en Tailandia tiene un valor de 194.000 dólares gracias a los muchos servicios que presta al ecosistema, entre ellos el secuestro de carbono, el control de la erosión, la protección contra tormentas, la producción de alimentos y los factores recreativos. Proteger los manglares y recuperar los que hemos perdido puede generar un beneficio económico muy superior al de destruirlos para criar gambas.

Si un ministro de Economía dispusiera de toda esta información, ¿qué decisión tomaría? ¿Permitir que la industria de la cría de gambas talara los manglares? ¿Los protegería? Desde el punto de vista económico, la respuesta es obvia, pero siempre resulta más difícil defender que la prohibición de extracción de vida salvaje de ciertas zonas también reporta beneficios económicos.

A finales de los años noventa buceé en la reserva marina de las islas Columbretes, a unos 320 kilómetros al sudoeste de las islas Medas. Las Columbretes son las cumbres de antiguos volcanes submarinos, y desde 1990 las aguas circundantes, 5.543 hectáreas, son zona protegida donde está prohibida la pesca y cualquier actividad extractiva. Son abruptas, están aisladas a 50 kilómetros de la orilla, y

hay una guardia constante que garantiza esta protección. Lo que más me sorprendió en aquellas inmersiones fue el tamaño de las langostas rojas. Comparadas con las que había visto en el Mediterráneo, eran verdaderos monstruos. Entre 1997 y 2007, mis colegas invirtieron tiempo en marcar las langostas dentro de la reserva, y vieron que el 7 por ciento de los machos y el 4 por ciento de las hembras salían de los límites todos los años y, por tanto, era legal capturarlas para la comercialización. No eran tantas como las que dejaron de pescarse cuando se estableció la prohibición, pero su tamaño lo compensaba sobradamente. Por peso, los pescadores capturan ahora un 10 por ciento más de langostas que si no existiera la reserva. Es obvio que los beneficios de la protección son superiores a los costos de oportunidad.

Hay ejemplos en todo el mundo de los beneficios económicos similares que se obtienen al establecer reservas marinas. En Santa Lucía, en el Caribe, se creó una pequeña red de reservas marinas que comprendía el 35 por ciento de la zona pesquera de las islas, y en menos de cinco años las capturas en los alrededores se incrementaron entre un 46 y un 90 por ciento. En la reserva marina de Ucunivanua, en las islas Fiyi, en cinco años la abundancia de las almejas se multiplicó por siete en las zonas adyacentes no protegidas gracias a la cantidad de larvas de almeja producidas en el interior. También a los cinco años se incrementó un 66 por ciento el índice de capturas en torno a las reservas marinas de la península del Sianí, en Egipto. En Kenia, en el parque nacional marino de Mombasa, los ingresos medios de los pescadores que trabajan cerca de la zona son un 135 por ciento más altos que los que tienen en áreas más alejadas no restringidas. La lista es interminable. Los ejemplos contradicen una y otra vez la presunción de que la protección tiene un precio demasiado alto, y muestran los beneficios duraderos que conlleva la conservación de zonas marinas.

El turismo, bien regulado, puede ser otro aliciente económico para las zonas protegidas. En octubre de 2016 estaba sentado con mi compañera, Kristin Rechberger, en una pradera cubierta de helechos gigantes en el parque nacional de los Volcanes, en Ruanda. Allí los

volcanes forman una cadena montañosa que cruza las fronteras de la República Democrática del Congo, Ruanda y Uganda. En este parque trinacional, y en una zona separada de selva virgen protegida en Uganda (la Selva Impenetrable de Bwindi), viven un millar de gorilas de montaña, los últimos que quedan de su especie. De ellos, unos seiscientos viven en la zona correspondiente a Ruanda. Más abajo se veía un muro de piedra que delimitaba el parque nacional en territorio ruandés, tan alto como para que los búfalos del parque no salieran a los maizales, tan impenetrable como para que la agricultura no invadiera la selva. Al otro lado del muro ya no queda selva, sino un mar de colinas ondulantes parceladas en pequeñas granjas.

Esta frontera tan marcada se mantiene gracias a la energía que aportan las divisas extranjeras de los turistas que acuden para ver a los gorilas. La protección del parque requiere dinero y recursos humanos, pero beneficia tanto a los gorilas como a las personas. Los 600 gorilas de montaña que viven en territorio ruandés aportan cada año al país unos 200 millones de dólares, y buena parte de esta cantidad se reinvierte en las aldeas que rodean el parque. De hecho, cada gorila de montaña aporta a Ruanda más riqueza que la media de los hombres y mujeres de negocios del país. El parque nacional es la fuente de empleo e ingresos más importante de la provincia, pero no se trata solo del dinero. La selva virgen que protege el parque proporciona seguridad y estabilidad, contiene la lluvia en la tierra y la libera de manera controlada en la zona.

El ecoturismo de los mares también tiene un valor extraordinario. La reserva marina de las islas Medas, donde hice mis primeros trabajos de campo, protege de la pesca una zona muy pequeña, apenas un kilómetro cuadrado, pero alberga una biomasa de peces impresionante, una de las más grandes del Mediterráneo. El Gobierno regional catalán creó la reserva en 1983, una decisión que llevó mucho tiempo y a la que se opusieron los pescadores, tanto los comerciales como los deportivos. Se calculó que la gestión de la reserva costaría medio millón de euros al año, que saldrían de los fondos gubernamentales, así que la reserva parecía un sumidero de recursos públicos. Sin embargo, una vez establecida, los peces volvieron muy pronto, y tras los peces llegaron aficionados al buceo de toda Europa. Ahora la reserva es la base de una operación de ecoturismo que aporta a la economía local 12 millones de euros al año

gracias en buena parte a los buzos de todo tipo y a los barcos de fondo transparente. El valor de la reserva superó el que tenía en tiempos anteriores en tan solo cinco años. Sin la reserva, el valor actual neto de la zona para los pescadores era de 1,8 millones de euros en un periodo de ocho años. Gracias a la protección actual, hoy día el valor neto es de 8 millones de euros debido al incremento del turismo en la reserva, la mejora de la pesca en los alrededores y la creación de cientos de empleos.

He presenciado ejemplos similares en todo el mundo, entre ellos el de cabo Pulmo, donde la espectacular recuperación de la vida marina cuando se inició la protección y el consiguiente desarrollo de un turismo de buceo bien controlado han hecho que la zona sea mucho más rica que otras comunidades costeras de México. A escala mucho mayor, el parque marino de la Gran Barrera de Coral, una zona protegida de 344.000 kilómetros cuadrados, en un tercio de los cuales la pesca está prohibida por completo, aportó 5.500 millones de dólares australianos a la economía del país, además de servir de base a 54.000 puestos de trabajo en 2007 gracias al ecoturismo, 36 veces más de los ingresos que llegaban por la pesca comercial. Lo mismo se puede decir de los parques nacionales de Estados Unidos. No disponemos de cifras para comparar con la situación previa a su creación, pero sí podemos cuantificar el valor que tienen hoy en día. En Yellowstone, el proyecto para reintroducir al lobo ha costado unos 30 millones de dólares, pero el ecoturismo del lobo aporta 35 millones de dólares al año, lo que conlleva el auge económico de las comunidades próximas al parque. En 2018, los 318 millones de visitantes gastaron aproximadamente 20.000 millones en las zonas de servicio del parque, generando 329.000 puestos de trabajo y un valor total de bienes y servicios por valor de 40.000 millones. Cada dólar que invierte el Gobierno federal en la gestión de los parques nacionales genera un rendimiento económico de diez dólares. Proteger los lugares salvajes donde la gente pueda disfrutar de la naturaleza es muy rentable.

Pese al creciente número de pruebas cuantitativas sobre los beneficios

económicos de preservar los ecosistemas naturales, el *statu quo* sigue eligiendo la explotación por encima de la conservación. Mucho hablar de sostenibilidad, pero las personas, las compañías, siguen talando selvas tropicales a un ritmo equivalente a varios campos de fútbol por minuto, y los barcos de la industria pesquera siguen esquilmando la población de peces a nivel mundial. Uno de los principales problemas es la opción de maximizar los beneficios mediante un único uso de un ecosistema concreto (ya sea leña o pescado), con lo que se destruye la capacidad de ese ecosistema para proporcionar otros beneficios.

Veamos el ejemplo de China. Durante el verano de 1998 hubo lluvias torrenciales. El río Yangtsé se desbordó y lo destruyó todo a su paso, generando las peores inundaciones que se recuerdan en la historia de la China actual. Una vez todo hubo acabado, los dirigentes locales trataron de comprender por qué las inundaciones habían sido tan destructivas. Había habido tormentas peores, todos las recordaban, pero ninguna había causado tales daños. No tardaron en comprender lo que había sucedido. El crecimiento económico del país en los años previos a la inundación había provocado un desarrollo que rompió el equilibrio entre los seres humanos y la naturaleza.

Las necesidades de una nación que estaba creciendo exigieron que se talaran los bosques río arriba, y el excesivo ganado había pastado hasta erosionar las praderas, con lo que la capacidad de estos ecosistemas para absorber el exceso de agua había quedado muy limitada. Sin árboles que retuvieran la lluvia, sin una tierra sana y praderas naturales que la absorbieran, el agua resbaló sobre el terreno endurecido. Y los humedales, la última salvaguardia contra las inundaciones, ya no existían, porque se habían utilizado para construir viviendas debido al crecimiento de la población. Las inundaciones de 1998 causaron daños por un valor de más de 20.000 millones de dólares y la muerte de 3.600 personas, en buena parte debido a la pérdida de estos ecosistemas. Tras la tragedia, las autoridades chinas recurrieron a expertos para que trataran de restaurar los ecosistemas perdidos. En términos económicos y de vidas humanas habría sido mucho más barato mantener la infraestructura verde: los bosques, las praderas y los humedales habían sido su seguro natural contra las inundaciones.

Las inundaciones del Yangtsé son solo un ejemplo de cómo el mundo natural nos proporciona más beneficios que los que vemos en

la etiqueta del precio de un único producto. El alimento es otro.

Tres de cada cuatro cosechas del mundo dependen al menos en parte de la polinización que llevan a cabo las abejas no controladas por el hombre, las mariposas, avispas, escarabajos, pájaros, murciélagos y otros vertebrados. El valor global anual de las cosechas polinizadas por animales oscila entre los 235.000 y los 577.000 millones. En los últimos cincuenta años, el volumen de las cosechas que dependen de la polinización animal se ha multiplicado por tres, y este valor se seguirá incrementando con el crecimiento de la población humana. La polinización es imprescindible no solo para lo que comemos, sino también para nueve de cada diez plantas florales silvestres, que son parte de ecosistemas más grandes y, como tales, proporcionan beneficios adicionales. Pero el uso masivo de pesticidas a nivel mundial está provocando el declive en el número de insectos. En el colmo de la ironía, nuestro método para impedir que los insectos destruyan los monocultivos es aniquilar la biodiversidad de la que dependen las cosechas que nos dan de comer. Estamos matando a la gallina de los huevos de oro.

Se calcula que el medioambiente, nuestro capital natural, proporciona al año alrededor de 125 billones de dólares en forma de apoyo gratuito a la sociedad humana y a la economía global. Es casi el doble del PIB mundial de 2011, que fue cuando se hizo este cálculo. Pero la cifra subestima el capital natural, porque no incluye algunos servicios que presta el ecosistema.

Tomemos por ejemplo el oxígeno, ese gas imprescindible para la supervivencia. Es tan esencial que los escaladores llaman «zona de la muerte» a lo más alto de las montañas, por encima de los 8.000 metros, donde el oxígeno es muy escaso. El oxígeno de la atmósfera lo producen las algas y las bacterias del océano y las plantas de la tierra. Si perdemos a las criaturas que nos dan oxígeno gratis, ¿podemos sustituir su función? Los economistas determinan el coste de una cosa según el llamado valor de reemplazo. ¿Cuánto costaría producir todo el oxígeno que hay en la atmósfera? Según los precios actuales, y suponiendo que tuviéramos la capacidad industrial necesaria, unos

186.000 billones de dólares. Para los aficionados a las cifras, en 2019 el precio de extraer una tonelada métrica de oxígeno puro del aire era de 155 dólares, y en la atmósfera hay 1,2 × 1.015 toneladas métricas de oxígeno. Así que, con estos datos en las manos, sabemos que el valor del oxígeno puro de la atmósfera es más de 2.000 veces el PIB mundial de 2019.

Ahora vienen las noticias, buenas y malas. Las malas son que, debido al uso excesivo del mundo natural y a lo que disfrutamos destruyendo nuestro propio sistema de soporte vital, cada año pagamos una factura de 7 billones de dólares. En 2050 el precio habrá alcanzado los 28 billones. Las buenas son que proteger los ecosistemas puede generar más valor que si los convertimos en monocultivos agrícolas o los explotamos hasta el límite. Un sistema bien gestionado de zonas protegidas que ocuparan un tercio del planeta, en la tierra y en el mar, costaría al año entre 103.000 y 171.000 millones de dólares. Los beneficios económicos superarían con mucho los costes. El PIB mundial subiría. Es una minucia de inversión para mantener un sistema de soporte vital de 125 billones de dólares. Pero aún hay quien dice que es imposible, que es demasiado caro y que no tenemos tanto dinero. Entre los que lo dicen están muchos ministros de economía.

Los Gobiernos están gastando 35.000 millones de dólares al año en subsidiar la pesca industrial y otras prácticas que perpetúan la extracción excesiva. También gastan 700.000 millones al año en subsidiar la agricultura industrial, la causa principal de la pérdida de diversidad terrestre. Y solo un 1 por ciento de esta cantidad se destina a la protección del medio ambiente. ¿Qué hay de los combustibles fósiles? El Fondo Monetario Internacional, en Washington, D.C., calculó que en 2015 los Gobiernos regalaron 300.000 millones brutos a las compañías de combustibles fósiles, mientras la sociedad paga el precio del impacto de su quema en forma de atascos de tráfico, accidentes, daños en las carreteras, mortalidad prematura debida a la contaminación del aire, renuncia a ingresos vía impuestos y calentamiento global. Este precio asciende a 5 billones de dólares... al año. Vaya si hay dinero. Lo que pasa es que se utiliza para apoyar esas mismas actividades que están destruyendo nuestro sistema de soporte vital y para perpetuar el sistema económico que esos señores tan importantes quieren proteger.

Nuestro equipo, armado con todas las pruebas antes expuestas, se reunió en la Sociedad National Geographic en abril de 2018 y decidió que, para establecer el orden de prioridad de protección en las zonas oceánicas, teníamos que desarrollar un nuevo marco con objetivos múltiples: no solo había que conservar la biodiversidad del océano, sino también proporcionar alimento a una creciente población humana y mitigar los impactos del cambio climático. El equipo dedicó año y medio a compilar bases de datos procedentes de diversas fuentes para generar mapas de los océanos divididos en píxeles que pudiéramos organizar por prioridades. Cada píxel definía una zona de unos 50 × 50 kilómetros, con lo que nuestra base de datos tenía más de 130.000 píxeles. Recopilamos datos sobre la distribución geográfica, el riesgo de extinción, la singularidad evolutiva y la función ecológica de cada una de las más de seis mil especies de plantas y animales. Generamos mapas de los principales tipos de ecosistemas oceánicos, desde las aguas más profundas hasta las más superficiales. Utilizamos cálculos estimados de la captura de cada especie por píxel y creamos un mapa global de almacenes de carbono en el primer metro del sedimento del lecho marino, entre otros datos. Los requisitos informáticos para analizar todos estos datos eran tan elevados que Google accedió a proporcionarnos 200 ordenadores en diferentes lugares para ejecutar los análisis: un superordenador virtual *pro bono*. El objetivo era calcular qué cantidad de océano necesitábamos para marcar la diferencia a nivel global. Y lo logramos.

Los resultados demostraron que un incremento sustancial en la protección de los océanos lograría tres cosas: proteger la biodiversidad, incrementar la productividad de la industria pesquera y garantizar los almacenes marinos de carbono que evitaran emisiones adicionales de gases de efecto invernadero. Para ser precisos, con una protección estratégica del 35 por ciento del océano conseguiríamos conservar dos tercios de todos los beneficios posibles de la biodiversidad y al mismo tiempo incrementar la captura global de pescado en 9 millones de toneladas métricas (el 91 por ciento del aprovisionamiento máximo de alimento potencial que se lograría con la protección incrementada). En otras palabras: la cantidad de pescado

que se recuperaría y saldría de los límites de las reservas de pesca prohibida superaría con creces el costo de oportunidad, el valor de las capturas perdidas debido a estas reservas.

Descubrimos también que la pesca de arrastre está liberando el carbono atrapado desde hace mucho en el sedimento del lecho marino. La protección del 35 por ciento del océano acabaría con el 28 por ciento de esas emisiones de carbono y, por tanto, contribuiría a reducir el cambio climático provocado por el hombre. En resumen: dar una protección plena al 35 por ciento de los océanos del planeta, a poco más de un tercio, proporcionaría beneficios económicos inmensos, además de proteger vastas zonas del mundo natural que todos amamos.

Estas recomendaciones habrían resultado contrarias a la intuición para mucha gente hace unos años, pero ahora sabemos que proteger mejor el mundo natural no solo es esencial para nuestra propia supervivencia, sino también un requisito indispensable para una economía próspera. Tenemos los datos, los cálculos y los argumentos racionales que lo demuestran. Los beneficios a largo plazo de restaurar los sistemas degradados y proteger los que quedan vírgenes exceden de largo a los beneficios a corto plazo del *statu quo* que sigue destruyendo nuestro mundo natural.

14

Por qué necesitamos lo salvaje

El 15 de abril de 2019 se quemó la catedral de Nôtre-Dame en París. Horrorizado, vi por televisión cómo las llamas devoraban sin piedad las gruesas vigas de roble hasta que el tejado se derrumbó. Los valientes bomberos impidieron que toda la estructura acabara destruida. En las calles de París, los ciudadanos franceses y los turistas lloraban sin consuelo. A la mañana siguiente, la noticia estaba en primera plana de los periódicos de todo el mundo. No habían pasado ni cuarenta y ocho horas cuando los multimillonarios franceses ya habían prometido cientos de millones de euros para la reconstrucción de la catedral, y el presidente Emmanuel Macron se comprometió a reconstruirla antes de cinco años. Las vigas de madera que sostenían el tejado eran de robles de la Edad Media, tan grandes que en Francia ya no existen árboles así. A lo largo de los siglos, en toda Europa, el ser humano ha talado los bosques primigenios donde crecían estos árboles viejos, y los que quedan hoy en día están en unos pocos lugares como los Cárpatos, en Rumanía, o el bosque de Białowieża, a caballo entre Polonia y Bielorrusia.

Yo he estado en los dos sitios. En las montañas de Retezat, en Rumanía, atravesé a pie pinares y praderas tan silvestres y vírgenes que son de los pocos lugares de Europa donde aún quedan osos, lobos y linces juntos. Me sentí como si paseara por el bosque mágico de Rivendell. Allí podía aparecer un elfo en cualquier momento. En Białowieża, me maravillaron los robles de treinta metros de altura, tan viejos que a su sombra se cobijarían algunos de los últimos bisontes salvajes de Europa, los mismos que aparecen en las pinturas rupestres de hace 30.000 años. Estos últimos lugares vírgenes son escasos, distantes entre ellos, y están a punto de desaparecer. En Rumanía, la tala ilegal está acabando con el bosque intacto más grande que queda en Europa, y los dirigentes polacos han violado las normas de la Unión

Europea al permitir la tala en Białowieża. Pero cuando se informó de estos incidentes en las noticias, no apareció ningún multimillonario que prometiera cientos de millones de dólares para salvar los bosques más viejos de Europa. Solo se oyó la voz y se vio el esfuerzo heroico de un puñado de filántropos y conservacionistas. Los Gobiernos no emprenden acciones drásticas para detener estas masacres naturales. ¿Por qué?

¿Por qué no tiene el mundo la misma sensación de pérdida trágica con la desaparición de las catedrales naturales? A todos, empezando por mí, nos conmovió lo que pasó en Nôtre-Dame, porque nadie se imaginaba que pudiéramos perder uno de nuestros símbolos históricos. Nôtre-Dame, la torre Eiffel, el Big Ben, las ruinas del Partenón... son parte de nuestro paisaje cultural inmutable. Los damos por hechos. Solo cuando estos símbolos corren peligro nos damos cuenta de que son mucho más que piedra y madera. Estos lugares son parte de nuestra identidad como civilización. Son destinos turísticos a nivel mundial y, para mucha gente, lugares sagrados. ¿No debería suceder lo mismo con el mundo natural? ¿No debería ser también parte de nuestra identidad, un destino deseable, un lugar sagrado?

Y lo cierto es que los bosques son más necesarios que las catedrales. Si perdemos el mundo natural, perdemos la comida de calidad, el agua potable, el oxígeno que respiramos, hasta la lluvia en muchos lugares. Todo lo que preocupa a la humanidad, todo aquello que nos es imprescindible, depende de una naturaleza saludable. Un medioambiente degradado es la fuente de todos los problemas que nos afectan. Mi amigo Lee White, ministro de Medioambiente de Gabón, me dijo que la selva de la cuenca del Congo, en África Occidental, produce la lluvia que riega las tierras altas de Etiopía, al otro lado del continente. La destrucción de la selva del Congo privaría de agua y alimento a Etiopía, a 125 millones de personas en 2019, probablemente el doble en 2050. Por si fuera poco, esas tierras altas suministran agua a la mitad del Nilo. Aquí entramos en Sudán y Egipto, 138 millones de personas más. Ya hemos visto las consecuencias de la pérdida de agua y alimentos en una región: revueltas, inestabilidad, caída de los Gobiernos y emigración masiva a países más ricos.

La estabilidad y la prosperidad en el noreste de África empieza con las selvas de Gabón y el Congo gracias a que los árboles grandes

«llaman a la lluvia» y absorben cantidades ingentes de contaminación por carbono, a los elefantes y gorilas de las tierras bajas que comen las frutas grandes y defecan las semillas a mucha distancia, a los insectos, gusanos y hongos que descomponen la necrosfera reciente y la transforman en nutrientes que ascienden por los árboles gracias a la luz del sol y el agua que ellos mismos contribuyen a producir. Es una red de interacciones milagrosa, tan compleja que no podríamos recrearla. Hay millones de especies de microbios, hongos, plantas y animales que llevan a cabo su función individual, que compiten, depredan, facilitan, hacen simbiosis, en sistemas estructurados a lo largo del tiempo (avanzando en la sucesión ecológica) y el espacio (creando el mosaico de comunidades ecológicas en diferentes etapas de madurez que conforman los ecosistemas que componen este mundo maravilloso).

La naturaleza virgen está aquí en toda su gloria barroca porque es lo que ha funcionado a lo largo de toda la historia de la vida en el planeta. Todas las interacciones que no funcionaron ya no existen. Solo quedan las piezas que encajan en este rompecabezas gigante. Lo irónico es que tenemos en nuestras manos el destino de todas las especies de las que depende nuestra existencia misma, y las estamos eliminando del planeta a una velocidad superada solo por el asteroide que acabó con los dinosaurios. Nos hemos convertido en el asteroide. Pero aún hay tiempo. Aún podemos salvarnos nosotros y salvar nuestro mundo natural.

Hay quien dice: «Pero en 2050 tendremos que alimentar a 9.000 millones de seres humanos. ¡Hay que utilizar todas esas tierras que ahora mismo son selvas o praderas improductivas!». Es el eterno falso conflicto entre producción y protección. Las necesidades y deseos cortoplacistas ponen la producción de alimento por encima de la conservación de los ecosistemas naturales. La agricultura, la silvicultura y el resto de los usos de la tierra son la causa principal de pérdida de biodiversidad en la Tierra, y también la actividad humana que consume más agua potable y contamina los ríos y océanos, además de emitir el 24 por ciento de los gases de efecto invernadero a nivel mundial. Si seguimos por este camino, permitiendo que la economía devore los ecosistemas intactos que nos mantienen con vida, las perspectivas de sostenibilidad del planeta son muy negras.

En cambio, si actuamos con un poco más de inteligencia en la

manera de comer, de cultivar la tierra y de explotar el mar, podemos tener las dos cosas: un planeta saludable y una alimentación también saludable, sin incrementar el impacto de la agricultura o la pesca. ¿Cómo es posible?

Para empezar, resulta que ya producimos alimentos para 10.000 millones de personas. Lo que pasa es que un tercio se desperdicia entre el campo y la mesa. El valor económico de los alimentos desperdiciados asciende cada año a un billón de dólares. La FAO calcula que esta comida que se pierde podría alimentar cada año a 2.000 millones de personas. Por si fuera poco, si la pérdida y el desperdicio de comida fueran un país, este ocuparía el tercer lugar del mundo en la emisión de gases de efecto invernadero, por detrás de China y Estados Unidos.

Buena parte de este desperdicio se podría controlar, sobre todo en Norteamérica, Europa y los países industrializados de Asia, donde las pérdidas son predominantes al final de la cadena de suministros. ¿Cómo? Para empezar, no comprando en exceso, reduciendo el tamaño de las porciones (buena parte de las cuales se quedan en el plato) y reduciendo el número de comidas a domicilio que pedimos. Esto último también reduciría el desperdicio en recipientes; en 2019, la comida a domicilio generó seis millones de recipientes desechables al día en China. Menos desperdicio y menos sobrepeso. Buena combinación, ¿no? Podríamos empezar a valorar las frutas y verduras por el sabor, en vez de elegir los especímenes insípidos pero de forma perfecta que solemos encontrar en los supermercados del hemisferio norte. En los países en vías de desarrollo haría falta un enfoque diferente, porque la pérdida de alimentos tiende a darse más cerca de la granja, antes de que el producto llegue al consumidor. En estos casos la solución estriba en invertir en almacenamiento y refrigeración, y en un sistema de distribución y mercados eficientes.

En segundo lugar, unos sencillos cambios en la dieta que seguimos contribuirían a reducir de manera radical tanto nuestra huella como las emisiones de gases de efecto invernadero. Hoy por hoy, un tercio de la cosecha agrícola se utiliza para alimentar a los animales. Es comida que no llega al ser humano, sino que está destinada al ganado. La cría de vacuno a nivel industrial es la manera menos eficaz de generar alimento. Por término medio, hacen falta 30 kilos de grano para producir un solo kilo comestible, sin huesos, de

carne de vacuno. Por si fuera poco, las vacas son las principales productoras de metano, un gas de efecto invernadero 25 veces más potente que el CO_2. En Estados Unidos, la producción ganadera, sobre todo de vacas, ocupa un 41 por ciento de la tierra, la mayoría destinada a pastos. Un estudio de 2018 demostró que la cría de animales ocupa un 80 por ciento de la superficie agrícola del mundo, pero solo nos aporta el 18 por ciento de las calorías que consumimos. Eso quiere decir que muchas praderas y llanuras se han transformado en pastizales de los que se ha abusado, y por tanto el ecosistema almacena menos carbono, produce gran cantidad de metano por los eructos y flatulencias de las vacas, y ha perdido la capacidad de proporcionarnos el resto de los beneficios de un ecosistema.

Una dieta «flexitariana», principalmente vegetal, con un consumo de carne ocasional, nos aportaría todos los nutrientes que necesitamos, incluidas las proteínas, y redundaría en una salud mejor para nosotros. Cambiar parte del vacuno por pollo también reportaría beneficios significativos. Y, lo más importante, un cambio de dieta como este reduciría el impacto medioambiental de la producción de alimentos. Con el mismo espacio utilizado se produciría un 50 por ciento más de calorías y, al mismo tiempo, se reducirían las emisiones de gases de efecto invernadero. Las tierras que dejáramos de utilizar para producir alimentos podrían recuperar su estado natural. Sería posible ralentizar o detener la deforestación, así como reducir la necesidad de agua para la agricultura.

En tercer lugar, hay maneras de producir alimento que son mucho más eficientes. Los monocultivos a gran escala son una atrocidad. La agricultura industrial necesita enormes subvenciones del Gobierno, envenena el suelo con pesticidas, fungicidas, insecticidas y un exceso de fertilizantes. El suelo sano, con todo su asombroso microecosistema, acaba muerto. La agricultura industrial abusa del agua para regar zonas áridas y vacía los acuíferos a una velocidad que la naturaleza no puede compensar. La frecuencia del labrado rompe el suelo y destruye la estructura natural, con lo que se reduce su capacidad para retener el agua y pierde fertilidad. Esta agua arrastra la tierra y hace que perdamos al año 24.000 millones de toneladas métricas en todo el mundo. Para que se entienda mejor: cada año perdemos en el planeta 3,4 toneladas métricas (o sea, dos metros cúbicos) por persona. Y los fertilizantes y otros productos químicos

agrícolas que metemos en el suelo acaban en el océano y crean «zonas muertas», áreas enteras donde ha desaparecido casi toda la vida. Ya hay unas quinientas, y no paran de crecer en tamaño y número.

Para invertir estas tendencias ominosas podríamos pasarnos a lo que se ha dado en llamar agricultura regenerativa, un enfoque conservacionista y restaurativo de la producción de alimento. El suelo se puede regenerar reduciendo el labrado, plantando cultivos de cobertura que mejoren la fertilidad, con la rotación de cosechas y la utilización de residuos agrícolas (compost) en lugar de fertilizantes sintéticos. Estas prácticas avaladas por la tradición se perdieron cuando la humanidad eligió una agricultura industrial y química. Si las recuperamos, conseguiremos regenerar el suelo e incrementar la biodiversidad, con lo que mejorará la productividad, tendremos un control natural de las plagas y se reducirá el despilfarro de agua. Lo más importante es mejorar la salud de las tierras y devolverles el complejo ecosistema que había bajo la superficie, y que no solo incrementa la fertilidad, sino que retiene más agua, permite que se recarguen los acuíferos, reduce la erosión y captura grandes cantidades de carbono. Los estudios sugieren que un cambio global a la agricultura regenerativa contribuiría a secuestrar buena parte de la contaminación por carbono que liberamos a la atmósfera, con lo que se mitigaría el cambio climático.

En cuarto lugar, centrándonos en el océano, debemos enfrentarnos a la pérdida de biodiversidad provocada por el exceso de extracción de la biomasa. Una investigación reciente que hemos realizado indica que podemos proteger una parte mucho más amplia del océano, al menos un 30 por ciento, y al mismo tiempo dar impulso a la productividad pesquera gracias al efecto beneficioso de las zonas protegidas sobre las circundantes. Además, es posible gestionar la industria pesquera de manera sostenible en las zonas no protegidas. Hay demasiados barcos a la caza de cada vez menos peces. Un informe del Banco Mundial señala que reducir la pesca en un 40 por ciento incrementaría la eficacia y la rentabilidad de la industria. Tenemos que pasar de este régimen abierto que ha llevado a la sobrepesca en buena parte del océano a un sistema con un enfoque basado en los derechos, con lo que los pescadores serían los primeros interesados en impedir la pesca excesiva y la violación de los límites de las zonas protegidas. Hay que acabar con las subvenciones que perpetúan la

pesca excesiva. El mundo se ahorraría 35.000 millones de dólares al año, que se podrían invertir en restaurar las pesquerías artesanales dentro de las aguas territoriales de cada país. Necesitamos mejor acuicultura. La acuicultura actual tiene un impacto negativo enorme: contamina las zonas costeras, propaga enfermedades y diezma la población local de peces por culpa de las especies introducidas para la cría. Es imprescindible liberarse de la dependencia actual de alimento para los peces, mejorar la producción de algas y bivalvos que se alimentan por filtración, como los mejillones y las ostras, y cerrar el ciclo de producción para evitar contaminar el medioambiente marino. Un estudio reciente apunta a que la totalidad de las capturas de las pesquerías se podría sustituir por una acuicultura que ocuparía menos del 0,015 por ciento de los océanos del mundo.

Por último, el calentamiento global (llamarlo «cambio climático» es un eufemismo) es la principal amenaza para la biodiversidad, desde las especies hasta los ecosistemas. Mucho se ha escrito ya sobre el impacto del incremento de la temperatura y cómo afectará a la vida en la tierra y en el mar. Hay una obra excelente, el libro *Biodiversity and Climate Change: Transforming the Biosphere*, de 2019, de mi amigo Tom Lovejoy.

Por poner aunque sea un solo ejemplo, muchas especies no pueden tolerar una subida de la temperatura, así que se trasladarán a otras alturas y latitudes para escapar del calor. Esto no es una teoría. Ya está pasando. Los peces, los mamíferos y hasta los árboles se están moviendo hacia la parte superior de las montañas, mientras que los peces van de las aguas tropicales a otras más frescas. Pero las especies que viven en la cima de las montañas o en el Ártico no tienen a dónde ir cuando su hábitat se recalienta, y muchas se están extinguiendo. El movimiento de las especies provocará el cambio de los ecosistemas que conforman. Ya estamos presenciando una transformación global de nuestra biosfera a un ritmo mucho más rápido que el de su configuración y evolución naturales. Esto reduce la capacidad de los ecosistemas complejos para cumplir las funciones que nos benefician y para resistir el trastorno continuo que está sufriendo el clima.

Los cambios futuros en la estructura de los ecosistemas serán probablemente muy bruscos cuando las especies de un ecosistema determinado respondan de manera casi simultánea a unas temperaturas por encima de sus límites de tolerancia. Un estudio de

2020 sugiere que, si persiste esta tendencia que nos llevará a una temperatura media 4 ˚C superior a la de épocas preindustriales, estos cambios bruscos empezarán antes de 2030 en los mares tropicales, y en 2050 en las selvas tropicales y latitudes superiores. Esto afectará por igual a zonas protegidas y desprotegidas, porque la temperatura no entiende de límites. Por tanto, el abandono progresivo de los combustibles fósiles en favor de una sociedad con neutralidad de carbono es condición imprescindible para conservar la estabilidad y la resiliencia de nuestros sistemas de soporte vital.

Sí, no faltará quien diga que es demasiado caro; que son cambios que no nos podemos permitir. Es como decir que no nos podemos permitir el lujo de salvarnos. Preguntarnos si debemos hacerlo o no es directamente absurdo, excepto para los que siguen tratando de ganar todo el dinero posible en el casino del *Titanic* después de chocar contra el iceberg.

El tema debería haber quedado zanjado de una vez por todas con el Informe Stern, que llevó a cabo en 2006 lord Nicholas Stern, el que fuera economista en jefe del Banco Mundial por encargo del departamento del Tesoro del Reino Unido. Stern comparó el precio de responder al calentamiento global con el precio de no hacer nada. Descubrió que la respuesta al calentamiento global costaría entre un 1 y un 2 por ciento del índice de crecimiento anual del PIB mundial, mientras que no hacer nada costaría como mínimo un 5 por ciento. Muchos países gastan el 2 por ciento de su PIB en defensa. Si invertir eso en combatir el calentamiento global es demasiado, entonces lo que no nos podemos permitir es el sistema económico actual.

Los que dicen que no podemos proteger una parte mayor de la naturaleza afirman que hace falta un equilibrio entre las necesidades de los seres humanos y las del mundo natural. Y es cierto, existe un desequilibrio… a favor de los seres humanos, sobre todo de los que sobreexplotan la naturaleza por motivos económicos. El crecimiento económico que busca el poder se basa en la destrucción de la biodiversidad y en el uso excesivo de combustibles fósiles, y nos dicen que su sistema es mejor que calcular la prosperidad y la felicidad

reales de las personas. Nuestra manera de dirigir el planeta es una estafa piramidal, un esquema de Ponzi, como dijo mi amigo Daniel Pauly, de la Universidad de la Columbia Británica: utilizamos el capital que aporta un inversor para pagar a otro, fingimos que estamos repartiendo beneficios, pero enseguida necesitamos otro inversor para pagar al anterior. Lo malo es que el esquema de Ponzi solo funciona mientras haya nuevos inversores a los que podamos engañar. Cuando la pirámide crece demasiado y nos quedamos sin nuevos inversores, todo se derrumba. Lo mismo se puede decir de la tierra y el océano. Nos estamos quedando sin bosques que destruir, sin caladeros de pesca que vaciar. Pero no hace falta que lleguemos al final para entender que este sistema basado en el crecimiento es insostenible. Crece el consumo, pero no el planeta ni las criaturas que lo habitan. Ha llegado el momento de reparar los daños que hemos causado a nuestros hermanos y hermanas del mundo natural, de darles más espacio para que sanen... y, de paso, nos sanen a nosotros.

¿Qué tenemos que hacer para conservar la naturaleza que tanta falta nos hace? Algunos estudios indican que habría que proteger la mitad del planeta para conservar la mayoría de las criaturas que lo pueblan, y también para que nosotros obtengamos todos los beneficios posibles del mundo natural. Estamos muy lejos de ese objetivo.

En la actualidad, la protección, real o propuesta, solo abarca un 15 por ciento de las tierras y un 7 por ciento de los mares. Tenemos un largo camino por delante, pero no es imposible. Hay países que ya están protegiendo una parte importante de sus tierras. Bután, por ejemplo, protege el 60 por ciento de su territorio; Venezuela, el 54 por ciento. Otros protegen una parte importante de los mares que están bajo su control: Palaos, el 80 por ciento; Chile, el 42 por ciento; Niue, el 40 por ciento; el Reino Unido, el 30 por ciento; las Seychelles, el 30 por ciento también; Gabón, el 28 por ciento. Estos países son un ejemplo de cómo dejar espacio a la naturaleza para que sobreviva y se desarrolle.

En 2021, los países del mundo se reunirán bajo los auspicios del Convenio de las Naciones Unidas sobre la Diversidad Biológica (CDB) para decidir cuánto espacio van a ceder al mundo natural. Desde la Sociedad National Geographic, junto con nuestros colegas de la Campaña Wyss por la Naturaleza, estamos solicitando una protección de al menos el 30 por ciento del planeta, en la tierra y en el mar, para

2030. Debe ser un hito en el camino de la protección de la mitad del planeta para permitir que la Tierra recupere la salud y la productividad naturales. Creemos que este 30 por ciento para 2030 es el mínimo innegociable. En el momento de escribir estas líneas, varios países influyentes están creando la High Ambition Coalition for Nature and People, copresidida por los Gobiernos de Costa Rica y Francia, que presionará por el objetivo del 30 por ciento para 2030 en el CDB. Hay estudios recientes en todo el mundo que señalan que los ciudadanos creen que el 30 por ciento de la Tierra ya está protegida, y expresan un deseo mayoritario de que esta protección se extienda a la mitad del planeta. La ciencia y la economía no dejan lugar a dudas, los Gobiernos más influyentes están respondiendo a la emergencia, y la gente lo pide.

En 1949, Aldo Leopold escribió acerca de una ética de la tierra que «amplía las fronteras de la comunidad para incluir el suelo, el agua, las plantas, los animales; todo lo que conforma la tierra». Ahora sabemos que la comunidad comprende la biosfera entera: las tierras, los mares y hasta la atmósfera. Hemos aprendido suficiente sobre la naturaleza de la naturaleza para saber que todo ser vivo del planeta, viva donde viva, nosotros incluidos, está conectado de una manera compleja, inextricable. Por tanto, es hora de pasar de una ética de la tierra, más local, a una ética del planeta. Tenemos que experimentar lo mismo que los astronautas que ven el planeta desde el espacio y comprenden que no tiene sentido basar nuestro comportamiento en unas normas aplicables solo a aquello que tenemos más próximo; debemos vernos como parte de un todo integrado, interconectado, interdependiente; y somos responsables de la totalidad del mundo natural. Es nuestro imperativo moral.

Esto supondrá una transformación tan revolucionaria como el descubrimiento de que la Tierra gira alrededor del Sol, y no al revés. La ética planetaria saca al ser humano del lugar en el centro del mundo donde él mismo se había situado y lo devuelve a una posición humilde y respetuosa como miembro de la biosfera. Dejamos de estar por encima del mundo natural y pasamos a estar en él. Nuestra

inteligencia superior conlleva una gran responsabilidad, pero no nos da poder sobre el resto de las criaturas. Es hora de utilizar esa inteligencia, mezclarla con compasión y proteger el derecho a la existencia de todas las demás criaturas. La recompensa para nosotros será ese sentido de maravilla y sobrecogimiento que disfrutamos al vivir en este mundo diverso y hermoso.

Epílogo

La naturaleza del coronavirus

Cuando este libro ya estaba corregido y listo para entrar en imprenta, el mundo se vio sacudido por una pandemia como jamás había visto nuestra generación. La COVID-19, provocada por un nuevo coronavirus, el SARS-CoV-2, pisó a fondo el freno de nuestra acelerada forma de vida. Los aviones dejaron de volar, los bares y restaurantes cerraron y la gente tuvo que quedarse en casa y no relacionarse. Las fronteras de los países, dibujadas por los ejércitos a lo largo de la historia, perdieron todo sentido. El enemigo invisible las cruzaba todas. La amenaza para las potencias mundiales y sus economías ya no venía de tanques o misiles, sino de una tos o una gota de saliva. Un virus diminuto ha detenido el mundo, un virus que, parece ser, se transmitió al ser humano a finales de 2019 a través de un «mercado húmedo», de productos frescos, en Wuhan, China, donde se venden animales salvajes recién sacrificados o aún vivos, como alimento o medicina. Un fragmento microscópico de material genético envuelto en una proteína nos ha puesto de rodillas a nosotros, al depredador hiperclave del planeta Tierra.

¿Cómo es posible que el virus saltara de un animal salvaje a un humano? ¿De qué animales proceden estos virus? ¿Qué implicaciones ecológicas tiene esta pandemia? ¿Qué podemos hacer para prevenir la próxima? Son muchas las preguntas que nos planteamos tras la conmoción inicial. La última etapa del duelo, la aceptación, debe venir acompañada del conocimiento. Tenemos que saber cómo hemos llegado a esto y qué podemos hacer para evitarlo. Las explicaciones ya están implícitas a lo largo de todo el libro, pero las circunstancias me han obligado a añadir este capítulo que era imprevisible cuando empecé a escribir. Por irónico y trágico que parezca, será el mejor argumento para explicar por qué la biodiversidad es necesaria para la salud humana y, en último término, para la supervivencia.

Empecemos por el origen de la pandemia. En el momento de escribir estas líneas, el consenso científico sugiere que el nuevo coronavirus se originó en los murciélagos pequeños de herradura. Una vez más, el murciélago es la fuente de un virus mortífero. Hoy es la temible COVID-19; en el pasado fueron el SARS (síndrome de insuficiencia respiratoria aguda), el MERS (síndrome respiratorio de Oriente Medio), el ébola, la rabia... Todos ellos son virus zoonóticos, es decir, que se transmiten de los animales a los seres humanos. Pero ¿cómo pasó el virus del murciélago al hombre?

Los virus tienen la capacidad de mutar y mezclar su material genético con el de su anfitrión, y evolucionar muy deprisa. Así arrollan las defensas del anfitrión contra los patógenos. Se considera que los murciélagos son reservorios de estos virus, pero estos pequeños mamíferos voladores tienen un sistema inmune muy fuerte. Combaten los virus y los expulsan en la saliva, la orina y las heces. Esto forma parte de su manera de sobreponerse a la enfermedad que transmita el virus.

Parece ser que los virus de los murciélagos tienen que mutar a través de un huésped intermedio, una especie de peldaño de acceso, antes de convertirse en un riesgo para nosotros. Los científicos han secuenciado el genoma del SARS-CoV-2 y han descubierto que está muy relacionado con otros betacoronavirus que se originan en los murciélagos. La diferencia estriba en que la secuencia genética de este virus ha hecho que los investigadores especulen que el huésped intermedio entre el murciélago y nosotros para la transmisión del SARS-CoV-2 es, probablemente, el pangolín malayo (repito, todo esto basado en las pruebas científicas disponibles en el momento de escribir estas líneas). Los pangolines son animales escamosos que se alimentan de hormigas, y el mamífero con el que más se trafica de manera ilegal en el mundo, muy buscado por gente que come su carne o cree que las escamas tienen poderes medicinales, llegando a pagar 3.000 dólares por un kilo. La investigación genética sugiere que los pangolines han servido como conducto para que un virus procedente de los murciélagos invada el mundo del ser humano.

En 1999 visité las cuevas de Gomantong, en Borneo. Nada más entrar en una caverna gigantesca, un olor acre me golpeó como un puñetazo en la nariz. Era el olor del guano producido por más de un cuarto de millón de murciélagos a lo largo de muchas décadas, acumulado en el suelo como una alfombra blanda de quién sabe qué espesor. Cada día, cientos de miles de murciélagos salen de la caverna para alimentarse, con lo que riegan la selva con sus excrementos. Imaginemos ahora a un pequeño pangolín, en su búsqueda rutinaria de hormigas o termitas. Seguramente pisa un excremento de murciélago, o lo huele mientras busca alimento. Así contrae el pangolín el virus en el medio natural.

O tal vez el huésped intermedio, ya sea un pangolín u otra desdichada criatura capturada viva, pudo contraer el virus de los murciélagos en un mercado donde se vendían ambos animales. Otra enfermedad respiratoria reciente debida a un coronavirus, el tristemente conocido SARS, se originó probablemente también en un mercado chino donde se vendían civetas de las palmeras. Las civetas son felinos, mamíferos semejantes a gatos, con patas cortas, cola larga y a veces un pelaje moteado muy bello; suelen tener un antifaz como el de los mapaches, con lo que parecen bandidos. Es probable que las civetas contrajeran el coronavirus SARS de los murciélagos.

Los animales como las civetas de palma o los pangolines se capturan vivos en las selvas tropicales de África y Asia, y se transportan vivos, a veces muchos miles de kilómetros, hasta los mercados húmedos (de productos frescos), donde los mantienen en condiciones de hacinamiento y en contacto con otras muchas especies. David Quammen, amigo mío y gran escritor sobre temas de la naturaleza, visitó un mercado de estos en China tras la pandemia del SARS de 2003. «Vi muchísimas aves salvajes de todo tipo capturadas para servir como alimento, no como mascotas —me dijo—. Las tenían en jaulas, todas mezcladas, y por allí corría el agua, corría la sangre, se sacrificaba a otros animales... No se me ocurre un entorno menos higiénico.»

¿Cómo se transmite el virus de estos animales a las personas? En el mercado, una persona coge un animal para venderlo. Otra persona lo coge para comprarlo. Puede que un animal muerda a una persona. Un limpiador puede entrar en contacto con la sangre del animal. Cualquiera puede salpicarse con la orina o la sangre de un animal

cuando lo sacrifican, o cuando lo meten o sacan del mercado. Luego estas personas se pueden tocar la cara o estrecharle la mano a alguien. O puede que ese animal sea para la cena. La transmisión del virus entre humanos a partir de estos mercados y luego en las ciudades populosas, y de ahí a una sociedad conectada a nivel mundial, es inevitable.

Los animales salvajes han transmitido bacterias y virus dañinos al ser humano desde hace milenios. Las plagas del pasado, provocadas por ratas y pulgas, han provocado millones de muertes. La plaga de Justiniano, entre los años 541 y 542, mató a 100 millones de personas. La peste negra mató a un tercio de la población de Europa entre 1347 y 1352. Aquellas ratas se habían adaptado muy bien (eran muy numerosas) en el entorno degradado de los asentamientos humanos de la Europa medieval.

Un estudio de 2020 ha explorado la relación entre la abundancia de especies transmisoras de virus zoonóticos y la probabilidad de que estos lleguen al ser humano. Tras examinar toda la bibliografía científica, consiguieron datos sobre 142 virus zoonóticos, y descubrieron que los roedores, los primates y los murciélagos eran las especies más portadoras. De hecho, el 76 por ciento de los virus zoonóticos descritos hasta la fecha tenían a estos grupos como anfitriones. Los investigadores descubrieron también que el riesgo de transmisión del virus a los humanos era más alto en los animales cuya abundancia se había incrementado porque se habían adaptado a un medioambiente dominado por el ser humano, como las ratas en la Europa medieval.

A medida que el ser humano invade los hábitats salvajes, los animales tienen que interactuar más y más con nosotros. Por ejemplo, en Uganda, la creciente población humana está cultivando granjas cada vez más cerca de la selva y empujando la frontera asimétrica entre zonas agrícolas y ecosistemas maduros, con lo que se crea una tensión en la zona. Este proceso incluye, por ejemplo, la tala de zonas selváticas del parque nacional de Kibale, donde habitan los chimpancés.

Los chimpancés son una especie muy inteligente, nuestro pariente más cercano, así que no pueden resistirse a la tentación de coger el maíz que crece en las plantaciones, algunas de las cuales están dentro del propio parque. Los chimpancés cometen sus robos de noche, pero

el contacto con los humanos es inevitable. Y este contacto no se limita a los chimpancés, sino que se extiende a otros primates. Se entrevistó a gente que vivía en los alrededores de Kibale, y gracias a eso se supo que un mono colobo había mordido a un niño, y que una mujer había movido el cadáver de un cercopiteco verde para sacarlo de un maizal. El ser humano expande sus dominios y entra en el hábitat natural de los primates salvajes, donde compite por el agua, el alimento y el territorio. El conflicto y el contacto físico son inevitables.

Las granjas se cuelan en las selvas y los leñadores y mineros se introducen en los ecosistemas prístinos. Talamos bosques para uso agrícola y de cría del ganado; secamos humedales para el desarrollo urbano; inundamos valles para hacer presas. Los cazadores se aventuran en selvas otrora remotas para buscar alimento, y los furtivos cazan animales salvajes para su consumo o los capturan para venderlos en el mercado ilegal. Los mineros perforan la cuenca del Congo en busca de coltán, un mineral raro esencial para el teléfono móvil que todos llevamos en el bolsillo. Cuando nos adentramos en lo que antes eran zonas vírgenes no nos limitamos a trastornar los ecosistemas, sino que provocamos una tensión excesiva en los animales que los habitan. Cuanto más contactamos con animales sujetos a esta tensión o que están infectados, más se incrementan las posibilidades de que nos expongamos a enfermedades nuevas para las que no tenemos inmunidad.

Hoy en día estamos creando los perfectos semilleros de enfermedades infecciosas, y esto incluso en países de clima templado donde no se suele consumir carne de animales silvestres, y donde los productos animales no se venden como medicina. Cerca de donde vivo, en la zona este de Estados Unidos, los bosques se están recuperando tras la deforestación masiva provocada por los colonos ingleses desde finales del siglo XVI. Pero lo que no ha vuelto es el depredador clave nativo, el lobo gris, porque la caza lo llevó a la extinción en la zona hace siglos. La desaparición del depredador clave provocó una cascada trófica que ha tenido consecuencias en la salud actual del ser humano.

Tras la desaparición del lobo en la zona este de Estados Unidos, la población de coyotes se incrementó. Esto provocó a su vez que los coyotes se alimentaran del zorro común. El zorro común es uno de los principales depredadores de los roedores pequeños, que son portadores de las ninfas de las garrapatas que transmiten a los humanos la enfermedad de Lyme. A menos lobos, más coyotes; a más coyotes, menos zorros; a menos zorros, más roedores; a más roedores, más garrapatas. El incremento de anfitriones para las ninfas de la garrapata hace que más garrapatas lleguen al estadio adulto y puedan saltar a los ciervos, que también abundan más debido a la desaparición de su depredador principal, el lobo gris. Se ha señalado que hay una relación entre el incremento en la población de ciervos y el número de casos de enfermedad de Lyme, pero las investigaciones más avanzadas apuntan a que la enfermedad de Lyme se ha disparado debido a la abundancia de mamíferos pequeños, provocada por la cascada trófica lobo-coyote-zorro-roedor. Como prueba empírica, cabe señalar que la enfermedad de Lyme es poco habitual en la zona oeste del estado de Nueva York, donde abundan los zorros, pese a que la población de ciervos es muy numerosa.

¿Qué ocurre con los mamíferos que utilizamos como alimento —vacas, cerdos, cabras— que conforman el 60 por ciento de la biomasa de mamíferos terrestres? ¿También nos pueden transmitir enfermedades? Pues sí. Lo cierto es que el ganado es portador de ocho veces más enfermedades zoonóticas que los mamíferos salvajes. La alta abundancia de mamíferos domésticos y las condiciones de hacinamiento de la cría han convertido nuestra principal fuente de alimentación animal en un riesgo para la salud. Por ejemplo, en 2009, un nuevo virus de la gripe (H1N1) pasó de los cerdos a los humanos en México y provocó un brote local que se extendió rápidamente hasta convertirse en una pandemia global. Los investigadores descubrieron que el virus era una mezcla de la gripe porcina de América del Norte, que había pasado de los pájaros a los cerdos, y otro virus porcino procedente de Europa. Parece ser que el nuevo virus quedó localizado en México durante diez años hasta que desarrolló la capacidad de saltar a los humanos.

¿Y qué ocurre con las criaturas que viven en los océanos, con el otro 70 por ciento del planeta? ¿La explotación de la vida oceánica supone una amenaza para la salud humana? La respuesta la descubrí durante una exploración de algunas islas remotas en el centro del Pacífico.

En 2005 organicé mi primera expedición de investigación al arrecife Kingman y las islas próximas. Kingman es la más septentrional de las islas de la Línea, once islas de coral que se extienden 2.350 kilómetros a lo largo del ecuador, a 930 millas náuticas al sur de Honolulu. En el transcurso de aquella primera expedición —durante la que empecé a concebir el proyecto Pristine Seas, que desarrollaría años más tarde—, visité cuatro de estas islas al norte del ecuador. Fue el experimento natural perfecto para comparar diferentes niveles de impacto humano en los arrecifes de coral.

Kingman era inhabitable. En la isla más cercana en dirección sur, Palmyra, había 20 personas al cargo de una estación de investigación y de la gestión de la Reserva Natural Nacional del Atolón Palmyra. Más al sur se encontraban Terania (900 habitantes por aquel entonces), Tabuaeran (2.500 habitantes) y Kiritimati (5.000 habitantes), que son parte de la República de Kiribati. Estas cuatro islas estaban suficientemente próximas para compartir condiciones climáticas y oceanográficas, flora y fauna. La única variable era el número de seres humanos.

Era una oportunidad muy emocionante, de modo que reuní un equipo de científicos para calcular la diversidad y la abundancia de todo, desde lo más pequeño hasta lo más grande: virus, bacterias, algas, invertebrados, peces... Y también para medir los cambios en el ecosistema del arrecife de coral según el nivel de intromisión humana. En cinco semanas llevamos a cabo 620 inmersiones, y contamos y calculamos la abundancia y biomasa de todo lo que pudimos. Los resultados no dejaban lugar a dudas: en cuanto el ser humano entra a pescar, incluso aunque sea un número limitado de personas, recorta la red alimentaria desde la cúspide. A medida que el número de personas se incrementa, de cero a unos pocos miles, el arrecife de coral pasa de tener muchos tiburones y corales a carecer de tiburones por completo y en cambio tener un gran número de peces pequeños y algas.

Pero también descubrimos otra cosa que no me esperaba, esta relativa a las criaturas de menos tamaño del arrecife.

Nunca me arrepentí de haber invitado a la expedición a mi

querido amigo Forest Rohwer. Forest es un microbiólogo genial que trabaja en la Universidad de San Diego y ha sido de los primeros en utilizar tecnología genómica para estudiar los virus y las bacterias del océano. Aquel año, en las islas de la Línea, Forest y su reducido grupo tomaron muestras de agua para medir la abundancia de microbios a lo largo de la gradiente de población humana. Descubrieron que en el agua de Kiritimati había 10 veces más bacterias que en Kingman.

Y la cantidad de microbios no era lo único que cambiaba con la presencia humana; también variaba, y mucho, el tipo de bacterias presentes. En Kingman encontramos aguas claras, cristalinas, donde la mitad de los microbios eran bacterias muy pequeñas tipo *Prochlorococcus*, que se limitan a hacer fotosíntesis, mientras que en Kiritimati las aguas eran más turbias y un tercio de las bacterias eran patógenas, entre ellas varios tipos de *Staphylococcus*, *Vibrio* y *Escherichia.* Lo más preocupante fue la presencia de *Vibrio*, que puede causar enfermedades en los corales, contribuir que las algas pasen a ser especies dominantes en lugar de estos, y, por tanto, potenciar florecimientos microbianos. El *Vibrio* también provoca enfermedades a veces letales en el ser humano, como cólera, gastroenteritis, infecciones de las heridas y septicemia. Forest tiene un nombre para este cambio en un ecosistema, de maduro, estable y lleno de animales grandes a inmaduro y dominado por criaturas de menor tamaño: lo llama «microbialización» de los arrecifes de coral.

En abril y mayo de 2009 volví a las islas de la Línea como parte de la primera expedición Pristine Seas de National Geographic, que visitaría cinco islas deshabitadas al sur del ecuador. Allí encontramos lo mismo que habíamos visto en Kingman: aguas transparentes y una biomasa de peces altísima, entre ellos muchos tiburones, así como un arrecife dominado por corales vivos. Llegamos hasta el atolón del Milenio, donde nos maravilló la abundancia de almejas gigantes con sus azules y verdes iridiscentes, cosa que ya habíamos observado en la laguna de Kingman.

Las almejas gigantes filtran el agua y capturan microorganismos, de los que se alimentan. Son filtros naturales, así que ¿hasta qué punto contribuían a mantener el agua tan limpia? Forest tomó agua de la laguna y llenó varios acuarios experimentales del barco. En unos puso una almeja gigante viva; en otros, la concha vacía, y en otros, solo el agua. Luego midió la abundancia de bacterias a lo largo del tiempo.

Los resultados fueron asombrosos. Las almejas gigantes acabaron con casi todas las bacterias del agua marina en doce horas, mientras en los otros acuarios el agua se enturbió y se llenó de microbios. Luego Forest añadió a todos los acuarios el *Vibrio* que había traído a la expedición (no conozco a mucha más gente que viaje con *Vibrio*). Como era de esperar, las almejas gigantes redujeron de manera significativa la abundancia de *Vibrio* en los acuarios experimentales, mientras que en los acuarios de control el *Vibrio* se multiplicó. Es un ejemplo más de cómo la naturaleza proporciona antídotos que solo ahora empezamos a identificar: la pesca de almejas gigantes en los arrecifes del Pacífico para aprovechar su carne y como adorno las ha llevado a desaparecer en muchos lugares. Sin saberlo, el ser humano ha estado eliminando los filtros naturales, las mascarillas FFP2 de la laguna, que lo protegían de la enfermedad.

Estamos juntos en esto. Todas las especies del planeta vamos en el mismo barco, como descubrimos cuando Nadia, una tigresa del zoo del Bronx en Nueva York, dio positivo por SARS-CoV-2. Por lo visto, se lo había transmitido un cuidador portador asintomático del virus. Nuestros parientes más cercanos, los chimpancés y los gorilas, también corren peligro. No sabemos si el SARS-CoV-2 los afecta, pero sí que pueden sufrir otras enfermedades respiratorias del ser humano. Para prevenir la transmisión de las personas a los gorilas de montaña, el parque nacional Virunga, en la República Democrática del Congo, y el parque nacional de los Volcanes, en Ruanda, cortaron el acceso a los turistas a finales de marzo de 2020. Los gorilas de montaña viven en grupos familiares que rara vez se juntan con otros, pero si un solo animal se infectara, podría ser el fin de todo el grupo familiar. Quedan poco más de un millar de gorilas de montaña en el planeta, así que cada grupo familiar es vital.

¿Qué podemos hacer? El mundo tiene que redoblar sus esfuerzos para ayudar a los que necesitan auxilio inmediato, pero también tenemos que empezar a pensar en prevenir la próxima pandemia zoonótica. En cuanto se supo que la COVID-19 tenía su origen en los murciélagos, las redes sociales se apresuraron a proponer el

exterminio como solución. Pero la sugerencia de exterminar a los murciélagos (o las civetas, o los pangolines, o cualquier otro animal salvaje que haya sido fuente o portador de las nuevas enfermedades infecciosas) solo viene a demostrar hasta qué punto ignoramos cómo funciona el mundo natural.

A lo largo de este libro hemos visto una y otra vez que, aunque no conocemos la función de la mayoría, todos los animales salvajes tienen un papel importante en la biosfera. Los murciélagos hacen una aportación muy beneficiosa a los ecosistemas. Se alimentan de insectos, con lo que mantienen bajo control la población de mosquitos que transmiten la malaria y reducen las plagas agrícolas, con lo que son muy útiles para los granjeros. Son el equivalente mamífero a las abejas, y polinizan más de 258 especies de plantas, entre ellas cosechas importantes como el plátano, el mango, el árbol del pan, el agave o el durión. Los investigadores han calculado que el valor económico del servicio de polinización que prestan los murciélagos es de unos 200.000 millones. Y aún nos queda mucho por aprender de estos asombrosos animales: unos mamíferos que vuelan de noche, que se orientan con un radar biológico. Unos cazan insectos, otros comen fruta o sorben néctar de las flores, y los hay que pescan en ríos. ¡Son extraordinarios!

Si algo hemos aprendido del estudio de los ecosistemas naturales en relación con estas enfermedades recientes es que no hay que exterminar animales salvajes para impedir su transmisión, sino todo lo contrario: tenemos que proteger el ecosistema natural donde habitan y, si es necesario, contribuir a que vuelva al camino de la madurez mediante la resilvestración. Los investigadores han descubierto una y otra vez que cuando degradamos su hábitat, los murciélagos, los pangolines, las civetas y los chimpancés sufren y dispersan más virus. Por el contrario, los bosques con una buena diversidad de especies de microbios, plantas y animales albergan menos enfermedades. La biodiversidad diluye los virus que aparecen, ya sea en las heces de los murciélagos o en otras fuentes. Es lo mismo que descubrimos en los arrecifes de coral. La biodiversidad proporciona un escudo natural que absorbe el exceso de patógenos. Y esto tiene lugar sin nuestra interferencia. Un mundo natural es el mejor antivirus.

Al mismo tiempo, tenemos que mejorar las condiciones económicas de las personas para que no se vean en la necesidad de

talar y quemar bosques como medio de subsistencia para sus granjas, cosa que no hace más que exacerbar el problema. Hay que prohibir el tráfico de animales salvajes, ya sea por su carne, como medicinas o como mascotas. Por supuesto, los sospechosos habituales dirán que no nos podemos permitir el lujo de proteger una parte más grande del mundo natural ni prohibir el tráfico de animales. Pero vamos a estudiar los números. Como se ha indicado anteriormente, un informe económico reciente dirigido por Anthony Waldron, de la Universidad de Cambridge, calcula que un sistema de zonas protegidas que abarcara el 30 por ciento del planeta costaría entre 103.000 y 171.000 millones de dólares al año, dependiendo de las zonas elegidas. Es apenas una fracción de los billones de dólares de pérdidas que está ocasionando la COVID-19 a la economía mundial, por no mencionar las pérdidas humanas. La prevención, es decir, una inversión en la naturaleza, es una apuesta mucho más segura, económica e inteligente que tener que responder a la próxima pandemia.

La provocada por el SARS-CoV-2 es el toque de atención más potente que ha recibido la humanidad para recordarnos que estamos todos conectados en nuestra biosfera; que nuestras acciones en una parte del planeta pueden tener un efecto en todos los rincones. Solo ha hecho falta una persona en un mercado húmedo para provocar una pandemia. Mucha gente piensa que las acciones individuales no tienen importancia, pero la COVID-19 ha demostrado que se equivocan.

En la antigüedad, los grupos humanos eran más pequeños y tenían una movilidad más restringida, lo que limitaba la dispersión de las enfermedades. Sin embargo, con el paso de los siglos, la humanidad se lo ha puesto muy fácil a los virus. Ahora es mucho más sencillo que evolucionen. Nos reunimos en grupos muy densos, en nuestros ecosistemas artificiales, y nos desplazamos por el globo como ninguna otra especie ha hecho jamás. Hemos construido fronteras asimétricas, pero también hemos eliminado muchas otras. Hemos convertido hábitats silvestres en ciudades, zonas agrícolas y grandes almacenes, robando el espacio a las especies con las que compartimos el planeta. En resumen, hemos creado las condiciones para una peste moderna.

La COVID-19 es un recordatorio más de que la conservación no es un lujo de los países ricos ni un ideal romántico. Nuestra supervivencia depende de que seamos mejores como miembros de la

biosfera, la comunidad a la que pertenecemos. Los virus también son parte de esa biosfera, y superan en número a la suma de todas las bacterias, plantas y animales. Se calcula que hay al menos 230.000 tipos de virus que infectan a los mamíferos. Algunos son letales para los seres humanos, y otros, beneficiosos. Por ejemplo, los bacteriófagos, los virus que infectan y destruyen unas bacterias concretas, se encuentran en la membrana mucosa interior de nuestros aparatos digestivo, respiratorio y reproductor, y forman parte del sistema inmune natural que crea una barrera contra patógenos que, de otra manera, nos infectarían. Las investigaciones médicas actuales están estudiando los bacteriófagos para utilizarlos para destruir bacterias resistentes a los antibióticos que podrían ser mortíferas. Los científicos que investigan sobre el cáncer también están explorando nuevas terapias que emplean virus para matar células cancerígenas de manera selectiva, y podrían ser una alternativa a la radiación o a la quimioterapia. Igual que sucede con otros microbios intrínsecos a nuestro organismo, los virus hacen que la frontera entre nosotros y el resto de la biosfera sea muy difusa.

De todos modos, los virus, las bacterias y otros patógenos no van a desaparecer. Hay muchas maneras de reducir la propagación de enfermedades y promover la abundancia de microorganismos saludables, pero acabar con los murciélagos (o con cualquier otro animal salvaje transmisor de los virus) no es una de ellas. Lo que sí podemos hacer es tomar medidas drásticas contra el tráfico y consumo de animales salvajes, poner fin a la deforestación, proteger los ecosistemas vírgenes, educar a la gente sobre el riesgo de agredir la naturaleza, cambiar la manera de producir alimentos, abandonar progresivamente los combustibles fósiles e iniciar la transición a una economía circular.

El objetivo tiene que ser la estabilidad y la resiliencia, no el crecimiento sin límites. La protección de nuestro mundo natural es la vacuna que necesitamos ahora mismo, antes de que sea demasiado tarde. Aunque solo sea por motivos egoístas, por nuestra propia supervivencia, ahora, más que nunca, necesitamos la naturaleza.

Agradecimientos

Un libro es como un ecosistema: el producto de muchas interacciones, de las cuales conocemos algunas, pero no sabemos nada de otras. Pero, igual que sucede en un ecosistema, todos contribuyen al resultado final.

La idea que inspira este libro surgió tras treinta años de pensar acerca de la sucesión ecológica, primero en un aula de la Universidad de Barcelona, más tarde al ver que los seres humanos invertían la sucesión y que las zonas protegidas la volvían a iniciar. He tenido la suerte de interactuar con verdaderos gigantes, tanto en mis años de vida académica como después, que me han enseñado los principios ecológicos que he descrito en este libro y me han ayudado a encontrar fuentes clásicas maravillosas. Quiero destacar sobre todo a Kike Ballesteros, Charles-François Boudouresque, Paul Dayton, Jim Estes, Mike Fay, Alan Friedlander, Josep M. Gili, Jo Harmelin, Mireille Harmelin-Vivien, Jeremy Jackson, Nancy Knowlton, Tom Lovejoy, Jane Lubchenco, Enrique Macpherson, Ramón Margalef, Bob Paine, Daniel Pauly, Lluís Polo, Forest Rohwer, Ed Wilson, Boris Worm y Mikel Zabala. Son poetas de la naturaleza que han hecho crecer mi amor por el mundo natural mucho más allá de datos y estadísticas. Mi eterna gratitud para ellos y para muchos otros más. Isabella Tree ha sido toda una inspiración y sus comentarios sobre el manuscrito me han resultado de gran valor.

Estoy en deuda con la Sociedad National Geographic por más de una década de confianza y apoyo. Y agradezco enormemente el trabajo incansable que realizan los equipos Pristine Seas de National Geographic y Campaña Wyss por la Naturaleza para salvar esa naturaleza que tanto necesitamos. Sois una fuente constante de inspiración para mí, al igual que todos los amigos y colegas que dedican su vida a salvar y devolver la salud a la vida silvestre en todo el mundo.

Este libro se ha escrito para contribuir a que prosigan las labores

de conservación, que han recibido el apoyo generoso de muchos compañeros y amigos, entre los que quiero destacar la Fundación Príncipe Alberto II de Mónaco, Björk, Blancpain, Miguel Bosé, la Fundación Keith Campbell por el Medioambiente, Jean y Steve Case, John Codey, la Fundación Leonardo DiCaprio, Roger y Rosemary Enrico, Google, Loic Gouzer, la Fundación Benéfica Helmsley, Sven Lindblad, Ann Luskey, la Fundación Oracle para la Educación, Jean y Tom Rutherfoord, Vicki, Roger y Shari Sant, la Fundación Philip Stephenson, la familia Van Rappard, Leonor Varela, la Fundación Waitt, la Fundación Wyss y muchos otros donantes individuales. Gracias, muchas gracias por vuestro compromiso en la salvación de la vida salvaje.

Mi más profunda gratitud al papa Francisco, al cardenal Peter Turkson y al padre Augusto Zampini por mostrarme la importancia de la espiritualidad en la salvación del mundo natural.

Este libro no se habría publicado sin el apoyo entusiasta, el aliento y los consejos de Lisa Thomas, la maravillosa directora de National Geographic Books, y Susan Hitchcock, mi increíble editora, que ha mejorado enormemente mi manera de redactar. Escribir un libro con vosotras es mucho más divertido de lo que me podía imaginar. Gracias por ser tan buenas compañeras. Y gracias también a Jane Sunderland por la concienzuda corrección. Estoy en deuda con mi amiga Jennifer Jacquet por sus consejos sobre cómo concebir, vender el concepto y escribir un libro.

Por último, nunca podré pagar la ayuda de la copiloto de mi vida, Kristin Rechberger, mi clave, mi mejor mentora, que hace mi vida tan diversa y maravillosa como una selva virgen o un arrecife de coral.

Bibliografía

La información sobre el proyecto Pristine Seas de National Geographic se puede encontrar en <www.pristineseas.org>.

1. La recreación de la naturaleza

Bar—On, Y. M.; R. Phillips, y R. Milo, «The Biomass Distribution on Earth», *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115, n.º 25 (2018), pp. 6506-6511.

Burgess, T. B.; V. D. Marino, y J. Joyce, *Internal report of the Biosphere 2 Science and Research Department. Biodiversity Working Group Summary* (11-12 de agosto), 1996.

Dempsey, R. C. (ed.), *The International Space Station: Operating an Outpost in the New Frontier*, Government Printing Office, 2017.

Di´az, S.; J. Settelehttps y E. Brondizio (eds.), *Summary for Policymakers of the Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. IPBES Secretariat, 2019.

Grooten, M. y R. E. A. Almond (eds.), *Living Planet Report–2018: Aiming Higher*, World Wildlife Fund, 2018.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático-Panel on Climate Change (IPCC), *Climate Change and Land: An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems.* IPCC, 2019. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/srccl-report-download-page/>.

Montanarella, L.; R. Scholes, y A. Brainich (eds.), *The IPBES Assessment Report on Land Degradation and Restoration*, IPBES Secretariat, 2018.

Walter, A., y S. C. Lambrecht, «Biosphere 2 Center as a Unique Tool for Environmental Studies», *Journal of Environmental Monitoring* 6, n.º 4 (2004), pp. 267-277.

Pickett, S. T., y J. M. Grove, «Urban Ecosystems: What Would Tansley Do?», *Urban Ecosystems* 12, n.º 1 (2009), pp. 1-8.

Sanderson, E. W., *Mannahatta: A Natural History of New York City*, Abrams, 2013.

Tansley, A. G., «The Use and Abuse of Vegetational Concepts and Terms», *Ecology* 16, n.º 3 (1935), pp. 284-307.

Weisman, A., *The World Without Us*, Macmillan, 2008. [Hay trad. cast.: *El mundo sin nosotros*, Barcelona, Debate, 2007.]

D'Ancona, U., *Dell'influenza della stasi peschereccia del periodo 1914-18 sul patrimonio ittico dell'Alto Adriatico*, Comitato Talassografico Italiano, 1926.

Darwin, C., *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*, John Murray, 1859. [Hay trad. cast.: *El origen de las especies*, Barcelona, Espasa, 1988.]

Gause, G. F., *The Struggle for Existence*, Williams and Wilkins, 1934.

Volterra, V., «Variations and Fluctuations of the Number of Individuals in Animal Species Living Together», *ICES Journal of Marine Science* 3, n.º 1 (1928), pp. 3-51.

Clements, F. E., *Plant Succession: An Analysis of the Development of Vegetation*, Carnegie Institution of Washington, 1916.

Connell, J. H., y R. O. Slatyer, «Mechanisms of Succession in Natural Communities and Their Role in Community Stability and Organization», *The American Naturalist* 111, n.º 982 (1977), pp. 1119-1144.

Grigg, R. W., y J. E. Maragos, «Recolonization of Hermatypic Corals

on Submerged Lava Flows in Hawaii», *Ecology* 55, n.º 2 (1974), pp. 387-395.

MARGALEF, R., 1963, «On Certain Unifying Principles in Ecology», *American Naturalist* 97, n.º 897 (1963), pp. 357-374.

—, *Our Biosphere*, vol. 10 de *Excellence in Ecology*, Ecology Institute, 1997. [Hay trad. cast.: *La biosfera*, Barcelona, Omega, 1999.]

ODUM, E., «The Strategy of Ecosystem Development», *Science* 164, n.º 3877 (1969), pp. 262-270.

PANDOLFI, J. M., y J. B. JACKSON, «Ecological Persistence Interrupted in Caribbean Coral Reefs», *Ecology Letters* 9, n.º 7 (2006), pp. 818-826.

PUTTS, M. R., *et al.*, «Structure and Development of Hawaiian Deep-Water Coral Communities on Mauna Loa Lava Flows», *Marine Ecology Progress Series* 630 (2019), pp. 69-82.

5. FRONTERAS

BERTHOLD, P., *Bird Migration: A General Survey*, Oxford University Press, 2001.

DAVIS, W., «The World Until Yesterday by Jared Diamond–Review», *The Guardian* (9 de enero de 2013).

MARGALEF, R., *Ecología*, Barcelona, Omega, 1974.

—, *Our Biosphere*, vol. 10 de *Excellence in Ecology*, Ecology Institute, 1997. [Hay trad. cast.: *La biosfera*, Barcelona, Omega, 1999.]

STIGLITZ, J. E.; A. SEN, y J. P. FITOUSSI, *Mismeasuring Our Lives: Why GDP Doesn't Add Up*, The New Press, 2010. [Hay trad. cast.: *Medir nuestras vidas: las limitaciones del PIB como indicador de progreso*, Barcelona, RBA, 2013.]

VAN DER LINGEN, C. D.; J. C. COETZEE, y L. HUTCHINGS, «Overview of the KwaZulu-Natal Sardine Run», *African Journal of Marine Scienc*e 32, n.º 2 (2010), pp. 271-277.

6. ¿SON IGUALES TODAS LAS ESPECIES?

BALLESTEROS, E., *Els vegetals i la zonació litoral: espècies, comunitats i*

factors que influeixen en la seva distribució, vol. 101, Institut d'Estudis Catalans, 1992.

DAYTON, P. K., «Toward an Understanding of Community Resilience and the Potential Effects of Enrichments to the Benthos at McMurdo Sound, Antarctica», en B. C. Parker, (ed.), *Proceedings of the Colloquium on Conservation Problems in Antarctica*, Allen Press, 1972, pp. 81-96.

—, «Ecology of Kelp Communities», *Annual Review of Ecology and Systematics* 16, n.º 1 (1985), pp. 215-245.

ESTES, J., *Serendipity: An Ecologist's Quest to Understand Nature*, University of California Press, 2016.

ESTES, J. A.; N. S. SMITH, y J. F. PALMISANO, «Sea Otter Predation and Community Organization in the Western Aleutian Islands, Alaska», *Ecology* 59, n.º 4 (1978), pp. 822-833.

ESTES, J. A., *et al.*, «Trophic Downgrading of Planet Earth», *Science* 333, n.º 6040 (2011), pp. 301-306.

ESTES, J. A., *et al.*, «Killer Whale Predation on Sea Otters Linking Oceanic and Nearshore Ecosystems», *Science* 282, n.º 5388 (1998), pp. 473-476.

Howard Hughes Medical Institute (HHMI), «Some Animals Are More Equal Than Others: Keystone Species and Trophic Cascades», vídeo de Biointeractive, HHMI, 2016. Disponible en: <https://naturedocumentaries.org/14877/animals-equal-others-keystone-species-trophic-cascades-hhmi-2016/>.

HUGHES, T. P., «Catastrophes, Phase Shifts, and Large-Scale Degradation of a Caribbean Coral Reef», *Science* 265, n.º 5178 (1994), pp. 1547-1551.

PAINE, R. T., «Food Web Complexity and Species Diversity», *American Naturalist* 100, n.º 910 (1966), pp. 65-75.

—, «Trophic Control of Production in a Rocky Intertidal Community», *Science* 296, n.º 5568 (2001), pp. 736-739.

SALA, E.; C. F. BOUDOURESQUE, y M. HARMELIN—VIVIEN, «Fishing, Trophic Cascades, and the Structure of Algal Assemblages: Evaluation of an Old but Untested Paradigm», *Oikos* 82, n.º 3 (1998), pp 425-439.

SALA, E., y M. ZABALA, «Fish Predation and the Structure of the Sea Urchin *Paracentrotus lividus* Populations in the NW Mediterranean», *Marine Ecology Progress Series* 140, n.º 1/3 (1996), pp. 71-81.

TERBORGH, J., y J. A. ESTES (eds.), *Trophic Cascades: Predators, Prey, and*

the Changing Dynamics of Nature, Island Press, 2013.

7. La biosfera

Bristow, C. S.; K. A. Hudson—Edwards, y A. Chappell, «Fertilizing the Amazon and Equatorial Atlantic With West African Dust», *Geophysical Research Letters* 37, n.º 14 (2010).

Chisholm, S. W., *et al.*, «A Novel Free-Living Prochlorophyte Abundant in the Oceanic Euphotic Zone», *Nature* 334, n.º 6180 (1998), p. 340.

Crisp, A., *et al.*, «Expression of Multiple Horizontally Acquired Genes Is a Hallmark of Both Vertebrate and Invertebrate Genomes», *Genome Biology* 16 (2015), p. 50.

Dewar, W. K., *et al.*, «Does the Marine Biosphere Mix the Ocean?», *Journal of Marine Research* 64 (2006), pp. 541-561.

Garrido, D.; D. C. Dallas, y D. A. Mills, «Consumption of Human Milk Glycoconjugates by Infant-Associated Bifidobacteria: Mechanisms and Implications», *Microbiology* 159 (2013; cuarta parte), pp. 649-664.

Gorshkov, V. G., y A. M. Makar'eva, «The Biotic Atmospheric Moisture Pump: Its Relationship to Global Atmospheric Circulation and Significance for Water Turnover on Land», prepublicación n.º 2655 del Petersburg Nuclear Physics Institute, Gatchina, 2006.

Huang, Y. J., y H. J. Boushey, «The Microbiome and Asthma», *Annals of the American Thoracic Society* 11 (2014; Suppl. 1), pp. S48-S51.

Kelly, J. R., *et al.*, «Transferring the Blues: Depression-Associated Gut Microbiota Induces Neurobehavioural Changes in the Rat», *Journal of Psychiatric Research* 82 (2016), pp. 109-118.

Locey, K. J., y J. T. Lennon, «Scaling Laws Predict Global Microbial Diversity», *Proceedings of the National Academy of Sciences* 113, n.º 21 (2016), pp. 5970-5975.

Lovelock, J. E., y L. Margulis, «Atmospheric Homeostasis by and for the Biosphere: The Gaia Hypothesis», *Tellus* 26, n.º ½ (1974), pp. 2-10.

Mikkelsen, K. H., *et al.*, «Use of Antibiotics and Risk of Type 2 Diabetes: A Population-Based Case-Control Study», *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 100 (2015), p. 10.

NICOL, S., *et al.*, «Southern Ocean Iron Fertilization by Baleen Whales and Antarctic Krill», *Fish and Fisheries* 11, n.º 2 (2010), pp. 203-209.

PENNISI, E., «The Secret Life of Fungi», *Science* 304, n.º 5677 (2004), pp. 1620-1622.

QIAN, J., *et al.*, «Size-Resolved Emission Rates of Airborne Bacteria and Fungi in an Occupied Classroom», *Indoor Air* 22, n.º 4 (2012), pp. 339-351.

SENDER, R.; S. FUCHS, y R. MILO, «Revised Estimates for the Number of Human and Bacteria Cells in the Body», *PLoS Biology* 14, n.º 8 (2016), e1002533.

SIMARD, S. W., «How Trees Talk to Each Other», presentación en la TED Summit de junio de 2016. Disponible en: <https://www.ted.com/talks/suzanne_simard_how_trees_talk_to_each_other/>.

SIMARD, S. W., y D. M. DURALL, «Mycorrhizal Networks: A Review of Their Extent, Function, and Importance», *Canadian Journal of Botany* 82, n.º 8 (2004), pp. 1140-1165.

SUGDEN, A.; R. STONE, y C. ASH, «Ecology in the Underworld», *Science* 304, n.º 5677 (2004), p. 1613.

WOHLLEBEN, P., *The Hidden Life of Trees: What They Feel, How They Communicate—Discoveries From a Secret World*, Greystone Books, 2014. [Hay trad. cast.: *La vida secreta de los árboles*, Barcelona, Obelisco, 2016.]

8. ¿EN QUÉ NOS DIFERENCIAMOS?

BOLTON, J. R., y D. O. HALL, «The Maximum Efficiency of Photosynthesis», *Photochemistry and Photobiology* 53, n.º 4 (1991), pp. 545-548.

BUXTON, R. T., *et al.*, «Noise Pollution Is Pervasive in U.S. Protected Areas», *Science* 356, n.º 6337 (2017), pp. 531-533.

DARIMONT, C. T., *et al.*, «The Unique Ecology of Human Predators», *Science* 349, n.º 6250 (2015), pp. 858-860.

DARWIN, C., *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex*, John Murray, 1871. [Hay trad. cast.: *El origen del hombre: la selección natural y la sexual*, Valencia, F. Sempere Editor, 1910.]

DESFORGES, J.-P., *et al.*, «Predicting Global Killer Whale Population Collapse From PCB Pollution», *Science* 361, n.º 6409 (2018), pp. 1373-1376.

Global Footprint Network, «Earth Overshoot Day, 2019». Disponible en: <https://www.footprintnetwork.org/our-work/earth-overshoot-day/>.

JACKSON, J. B., «Ecological Extinction and Evolution in the Brave New Ocean», *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105 (2008; Suppl. 1), pp. 11458-11465.

Margalef, R., *Our Biosphere*, vol. 10 de *Excellence in Ecology*, Ecology Institute, 1997. [Hay trad. cast.: *La biosfera*, Barcelona, Omega, 1999.]

SEED, A., y R. BYRNE, «Animal Tool-Use», *Current Biology* 20, n.º 23 (2010), pp. R1032-R1039.

SMITH, C. R., *et al.*, «Whale-Fall Ecosystems: Recent Insights Into Ecology, Paleoecology, and Evolution», *Annual Review of Marine Science* 7 (2015), pp. 571-596.

TESKE, S. (ed.), *Achieving the Paris Climate Agreement Goals.* Disponible en: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-030-05843-2.pdf>.

WORM, B., y R. T. PAINE, «Humans as a Hyperkeystone Species», *Trends in Ecology & Evolution* 31, n.º 8 (2016), pp. 600-607.

9. LA DIVERSIDAD ES DESEABLE

CARDINALE, B., *et al.*, «Biodiversity Loss and Its Impact on Humanity», *Nature* 486, n.º 7401 (2012), pp. 59-67.

DARWIN, C., *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*, John Murray, 1859. [Hay trad. cast.: *El origen de las especies*, Barcelona, Espasa, 1988.]

PAULY, D., y D. ZELLER, «Catch Reconstructions Reveal That Global Marine Fisheries Catches Are Higher Than Reported and Declining», *Nature Communication* 7 (2016), p. 10244.

SALA, E., y N. KNOWLTON, «Global Marine Biodiversity Trends», *Annual Review of Environment and Resources* 31 (2006), pp. 93-122.

WILSON, E. O., *The Diversity of Life*, W. W. Norton and Company, 1999. [Hay trad. cast.: *La diversidad de la vida*, Barcelona, Crítica, 2003.]

WORM, B., *et al.*, «Impacts of Biodiversity Loss on Ocean Ecosystem Services», *Science* 314, n.º 5800 (2006), pp. 787-790.

ZHU, Y., *et al.*, «Genetic Diversity and Disease Control in Rice», *Nature* 406, n.º 6797 (2000), p. 718.

10. ZONAS PROTEGIDAS

ABURTO—OROPEZA, O., *et al.*, «Large Recovery of Fish Biomass in a No-Take Marine Reserve», *PLoS One* 6, n.º 8 (2011), e23601.

ATWOOD, T. B., *et al.*, «Predators Help Protect Carbon Stocks in Blue Carbon Ecosystems», *Nature Climate Change* 5, n.º 12 (2015), p. 1038.

BABCOCK, R. C., *et al.*, «Decadal Trends in Marine Reserves Reveal Differential Rates of Change in Direct and Indirect Effects», *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107, n.º 43 (2010), pp. 18256-18261.

BAN, N. C., *et al.*, «Well-Being Outcomes of Marine Protected Areas», *Nature Sustainability* 2, n.º 6 (2019), p. 524.

DINERSTEIN, E. *et al.*, «A Global Deal for Nature: Guiding Principles, Milestones, and Targets», *Science Advances* 5, n.º 4 (2019), eaaw2869.

GARNETT, S. T., *et al.*, «A Spatial Overview of the Global Importance of Indigenous Lands for Conservation», *Nature Sustainability* 1 (2018), pp. 369-374.

GUIDETTI, P., y E. SALA, «Community-Wide Effects of Marine Reserves in the Mediterranean Sea», *Marine Ecology Progress Series* 335 (2007), pp. 43-56.

HADDAD, N. M., *et al.*, «Habitat Fragmentation and Its Lasting Impact on Earth's Ecosystems», *Science Advances* 1, n.º 2 (2015), e1500052.

HANSEN, M. M.; R. JONES, y K. TOCCHINI, «Shinrin-Yoku (Forest Bathing) and Nature Therapy: A State-of-the-Art Review», *International Journal of Environmental Research and Public Health* 14, n.º 8 (2017), p. 851.

JACKSON, J. B., «Reefs Since Columbus», *Coral Reefs* 16, n.º 1 (1997), pp. S23-S32.

JACKSON, J. B. C., *et al.*, «Historical Overfishing and the Recent Collapse of Coastal Ecosystems», *Science* 293, n.º 5530 (2001), pp. 629-637.

LESTER, S. E., *et al.*, «Biological Effects Within No-Take Marine Reserves: A Global Synthesis», *Marine Ecology Progress Series* 384 (2009), pp. 33-46.

LOVEJOY, T. E., y C. NOBRE, «Amazon Tipping Point», *Science Advances* 4, n.º 2 (2018), eaat2340.

MCCLENACHAN, L.; F. FERRETTI, y J. K. BAUM, «From Archives to Conservation: Why Historical Data Are Needed to Set Baselines for Marine Animals and Ecosystems», *Conservation Letters* 5, n.º 5 (2012), pp. 349-359.

NAIDOO, R., *et al.*, «Evaluating the Impacts of Protected Areas on Human Well-Being Across the Developing World», *Science Advances* 5, n.º 4 (2019), eaav3006.

PANDOLFI, J. M., *et al.*, «Global Trajectories of the Long-Term Decline of Coral Reef Ecosystems», *Science* 301, n.º 5635 (2003), pp. 955-958.

PAULY, D., «Anecdotes and the Shifting Baseline Syndrome of Fisheries», *Trends in Ecology & Evolution* 10, n.º 10 (1995), p. 430.

SALA, E., *et al.*, «A General Business Model for Marine Reserves», *PLoS One* 8, n.º 4 (2013), e58799.

SALA, E., y S. GIAKOUMI, «No-Take Marine Reserves Are the Most Effective Protected Areas in the Ocean», *ICES Journal of Marine Science* 75, n.º 3 (2017), pp. 1166-1168.

SALA, E., *et al.*, «Assessing Real Progress Towards Effective Ocean Protection», *Marine Policy* 91 (mayo de 2018), pp. 11-13.

SHEARS, N. T., y R. C. BABCOCK, «Continuing Trophic Cascade Effects After 25 Years of No-Take Marine Reserve Protection», *Marine Ecology Progress Series* 246 (2003), pp. 1-16.

VELDHUIS, M. P., *et al.*, «Cross-Boundary Human Impacts Compromise the Serengeti-Mara Ecosystem», *Science* 363, n.º 6434 (2019), pp. 1424-1428.

CROMSIGT, J. P., *et al.*, «Trophic Rewilding as a Climate Change Mitigation Strategy?», *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 373, n.º 1761 (2018), 20170440.

GATES, B., «The Deadliest Animal in the World», blog *Gates Notes* (25 de abril de 2014). Disponible en: <https://www.gatesnotes.com/health/most-lethal-animal-mosquito-week>.

KOEL, T. M., *et al.*, «Non-native Lake Trout Induce Cascading Changes in the Yellowstone Lake Ecosystem», *Yellowstone Science* 25, n.º 1 (2017), pp. 42-50.

MAYER, A., *et al.*, «The Potential of Agricultural Land Management to Contribute to Lower Global Surface Temperatures», *Science Advances* 4, n.º 8 (2018), eaaq0932.

RIPPLE, W. J., y R. L. BESCHTA, «Trophic Cascades in Yellowstone: The First 15 Years After Wolf Reintroduction», *Biological Conservation* 145, n.º 1 (2011), pp. 205-213.

SINCLAIR, A. R. E., y M. NORTON—GRIFFITH, *Serengeti: Dynamics of an Ecosystem*, University of Chicago Press, 1979.

SMITH, D.; R. O. Peterson, y D. B. Houston, «Yellowstone After Wolves», *BioScience* 53, n.º 4 (2003), pp. 330-340.

TREE, I., *Wilding: The Return of Nature to a British Farm*, Picador, 2018.

VERA, F. W. M., *Grazing Ecology and Forest History*, CABI Publishing, 2000.

12. EL IMPERATIVO MORAL

DIAMOND, J., *Collapse: How Societies Choose to Fail or Succeed*, Penguin, 2005. [Hay trad. cast.: *Colapso: por qué unas sociedades perduran y otras desaparecen*, Barcelona, DeBolsillo, 2007.]

FAY, J. M., y M. NICHOLS., *The Last Place on Earth: With Mike Fay's African Megatransect Journals*, 2 vols., National Geographic, 2005.

GARSON, J., A. PLUTYNSKI, y S. SARKAR, *The Routledge Handbook of Philosophy of Biodiversity*, Taylor and Francis, 2016.

PAPA FRANCISCO, *Laudato Si' – Encyclical Letter, Francis*, Vatican: the Holy See, Libreria Editrice Vaticana, 2015. Disponible en: <https://www.vatican.va/content/francesco/en/encyclicals/documents/papa-francesco_20150524_enciclica-laudato-si.html>.

[Hay trad. cast. disponible en: <http://www.vatican.va/content/francesco/es/encyclicals/documents/papa-francesco_20150524_enciclica-laudato-si.html>.]

Parlamento de Nueva Zelanda, «Innovative Bill Protects Whanganui River With Legal Personhood» (28 de marzo de 2017). Disponible en: <https://www.parliament.nz/en/get-involved/features/innovative-bill-protects-whanganui-river-with-legal-personhood>.

Safina, C., «The New Threat to Endangered Species? The Trump Administration», *New York Times* (13 de agosto de 2019).

Tucker, M. E., y J. Grim, *Ecology and Religion*, Island Press, 2013.

—, (editores de la serie). Serie «Religions of the World and Ecology», distribuida por Harvard University Press. Información adicional en: < https://fore.yale.edu/publications/books/cswr>.

Wilson, E. O., *Biophilia*, Harvard University Press, 1984. [Hay trad. cast.: *Biofilia*, Madrid, Errata Naturae, 2021.]

—, *The Creation: An Appeal to Save Life on Earth*, W. W. Norton and Company, 2007. [Hay trad. cast.: *La creación: salvemos la vida en la tierra*, Buenos Aires, Katz Editores, 2007.]

13. Naturaleza y economía

Aburto—Oropeza, O., *et al.*, «Recruitment and Ontogenetic Habitat Shifts of the Yellow Snapper (*Lutjanus argentiventris*) in the Gulf of California», *Marine Biology* 156, n.º 12 (2009), pp. 2461-2472.

Aburto—Oropeza, O., *et al.*, «Mangroves in the Gulf of California Increase Fishery Yields», *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105, n.º 30 (2008), pp. 10456-10459.

Chong, J., «Protective Values of Mangrove and Coral Ecosystems: A Review of Methods and Evidence», International Union for Conservation of Nature, 2005.

Coady, D., *et al.*, «How Large Are Global Fossil Fuel Subsidies?», *World Development* 91 (2017), pp. 11-27.

Costanza, R., *et al.*, «Changes in the Global Value of Ecosystem Services», *Global Environmental Change* 26 (2014), pp. 152-158.

Dahdouh—Guebas, F., *et al.*, «How Effective Were Mangroves as a Defence Against the Recent Tsunami?», *Current Biology* 15, n.º 12 (2005), pp. R443-R447.

FOLEY, J. A., «Can We Feed the World and Sustain the Planet?», *Scientific American* 305, n.º 5 (2011), pp. 60-65.

Foro Económico Mundial, «Nature Risk Rising: Why the Crisis Engulfing Nature Matters for Business and the Economy», New Nature Economy series 1 (2020). Disponible en: <https://www3.weforum.org/docs/WEF_New_Nature_Economy_Report_2020.pdf>.

GONˇI, R. *et al.*, «Net Contribution of Spillover From a Marine Reserve to Fishery Catches», *Marine Ecology Progress Series* 400 (2010), pp. 233-243.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), *Climate Change and Land: An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems*, IPCC, 2019. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/srccl-report-download-page/>.

KROODSMA, D. A., *et al.*, «Tracking the Global Footprint of Fisheries», *Science* 359, n.º 6378 (2018), pp. 904-908.

KUMAR, P., ed., *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*, Earthscan, 2010.

MAEKAWA, M., *et al.*, «Mountain Gorilla Tourism Generating Wealth and Peace in Post-conflict Rwanda», *Natural Resources Forum* 37, n.º 2 (2013), pp. 127-137.

MARSHALL, D. J., *et al.*, «Underestimating the Benefits of Marine Protected Areas for the Replenishment of Fished Populations», *Frontiers in Ecology and the Environment* 17, n.º 7 (2019), pp. 407-413. doi: 10.1002/fee.2075/.

MCCOOK, L. J., *et al.*, «Adaptive Management of the Great Barrier Reef: A Globally Significant Demonstration of the Benefits of Networks of Marine Reserves», *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107, n.º 43 (2010), pp. 18278-18285.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), *The State of World Fisheries and Aquaculture 2018*, FAO, 2018. Disponible en: <https://www.fao.org/state-of-fisheries-aquaculture>.

SALA, E., *et al.*, «A General Business Model for Marine Reserves», *PLoS One* 8, n.º 4 (2013), e58799.

SALA, E., *et al.*, «Fish Banks: An Economic Model to Scale Marine

Conservation», *Marine Policy* 73 (2016), pp. 154-161.

SALA, E., *et al.*, «Reconciling Biodiversity Protection, Food Production, and Climate Change Mitigation in the Global Ocean», *Nature,* 2020.

SATHIRATHAI, S., y E. B. Barbier, «Valuing Mangrove Conservation in Southern Thailand», *Contemporary Economic Policy* 19, n.º 2 (2011), pp. 109-122.

SUMAILA, U. R., *et al.*, «Updated Estimates and Analysis of Global Fisheries Subsidies», *Marine Policy* 109 (2019), 103695.

THOMAS, C. C.; L. KOONTZ, y E. CORNACHIONE, «2018 National Park Visitor Spending Effects: Economic Contributions to Local Communities, States, and the Nation», Natural Resource Report NPS/NRSS/EQD/NRR–2019/1922, National Park Service, Fort Collins, CO, 2019.

WALDRON, A., *et al.*, *Protecting 30% of the Planet for Nature: Costs, Benefits and Economic Implications*, Sociedad del National Geographic y Campaña Wyss por la Naturaleza, 2020.

WORM, B., *et al.*, «Impacts of Biodiversity Loss on Ocean Ecosystem Services», *Science* 314, n.º 5800 (2006), pp. 787-790.

YU, F., *et al.*, «Analysis of Historical Floods on the Yangtze River, China: Characteristics and Explanations», *Geomorphology* 113, n.º ¾ (2009), pp. 210-216.

14. POR QUÉ NECESITAMOS LO SALVAJE

Banco Mundial, *The Sunken Billions Revisited: Progress and Challenges in Global Marine Fisheries*, World Bank, 2017. <https:// doi: 10.1596/978-1-4648-0919-4>.

CLAY, J., «Freeze the Footprint of Food», *Nature* 475, n.º 7356 (2011), p. 287.

GENTRY, R. R., *et al.*, «Mapping the Global Potential for Marine Aquaculture», *Nature Ecology & Evolution* 1, n.º 9 (2017), p. 1317.

Instituto Rodale, *Regenerative Organic Agriculture and Climate Change: A Down-to-Earth Solution to Global Warming*, Rodale Institute, 2017. Disponible en: <https://rodaleinstitute.org/wp-content/uploads/rodale-white-paper.pdf>.

LEOPOLD, A., *A Sand County Almanac and Sketches Here and There*,

Oxford University Press, 1949.

LOVEJOY, T. E., y L. HANNAH (eds.), *Biodiversity and Climate Change: Transforming the Biosphere*, Yale University Press, 2019.

PAULY, D., «Aquacalypse Now: The End of Fish», *New Republic* (28 de septiembre de 2009).

RHODES, C. J., «The Imperative for Regenerative Agriculture», *Science Progress* 100, n.º 1 (2017), pp. 80-129.

ROCKSTRO¨M, J., *et al.*, «Sustainable Intensification of Agriculture for Human Prosperity and Global Sustainability», *Ambio* 46, n.º 1 (2017), pp. 4-17.

SALA, E., y K. RECHBERGER, «Protecting Half the Ocean?», en R. M. Desai, *et al.*, eds., *From Summits to Solutions: Innovations in Implementing the Sustainable Development Goals*, Brookings Institution Press, 2018, pp. 239-261.

SPRINGMANN, M., *et al.*, «Options for Keeping the Food System Within Environmental Limits», *Nature* 562, n.º 7728 (2018), p. 519.

STERN, N., *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge University Press, 2007.

STUART, T., *Waste: Uncovering the Global Food Scandal*, W. W. Norton and Company, 2009. [Hay trad. cast.: *Despilfarro: el escándalo global de la comida*, Madrid, Alianza, 2011.]

TRISOS, C. H.; C. MEROW, y A. L. PIGOT, «The Projected Timing of Abrupt Ecological Disruption from Climate Change», *Nature* (2020). Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2189-9>.

WILLETT, W., *et al.*, «Food in the Anthropocene: The EAT-Lancet Commission on Healthy Diets From Sustainable Food Systems», *Lancet* 393, n.º 10170 (2019), pp. 447-492.

WILSON, E. O., *Half Earth: Our Planet's Fight for Life*, Knopf, 2017. [Hay trad. cast.: *Medio planeta: la lucha por las tierras salvajes en la era de la sexta extinción*, Madrid, Errata Naturae, 2017.]

ZELLER, D., y D. PAULY, «Back to the Future for Fisheries, Where Will We Choose to Go?», *Global Sustainability* 2 (2019), e11. <https://doi.org/10.1017/sus.2019.8>.

Afelt, A.; R. Frutos, y C. Devaux, «Bats, Coronaviruses, and Deforestation: Toward the Emergence of Novel Infectious Diseases?», *Frontiers in Microbiology* 9 (2018), p. 702.

Barr, J. J., *et al.*, «Bacteriophage Adhering to Mucus Provide a Non-host-derived Immunity», *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110, n.º 26 (2013), pp. 10771-10776.

Bloomfield, L. S. P.; T. L. McIntosh, y E. F. Lambin, «Habitat Fragmentation, Livelihood Behaviors, and Contact Between People and Nonhuman Primates in Africa», *Landscape Ecology* 35 (2020), pp. 985-1000. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10980-020-00995-w>.

Boni, M. F., *et al.*, «Evolutionary Origins of the SARS-CoV-2 Sarbecovirus Lineage Responsible for the COVID-19 Pandemic», *bioRxiv* (2020). Disponible en: <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2020.03.30.015008v1>.

Brook, C. E. *et al.*, «Accelerated Viral Dynamics in Bat Cell Lines, with Implications for Zoonotic Emergence», *eLife* 9 (2020).

Civitello, D. J., *et al.*, «Biodiversity Inhibits Parasites: Broad Evidence for the Dilution Effect», *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112, n.º 28 (2015), pp. 8667-8671.

Dinsdale, E. A., *et al.*, «Microbial Ecology of Four Coral Atolls in the Northern Line Islands», *PloS ONE* 3, n.º 2 (2008).

Fondo Mundial para la Naturaleza, «The Loss of Nature and Rise of Pandemics: Protecting Human and Planetary Health», World Wildlife Fund, 2020. Disponible en: <https://wwf.panda.org/?361716>.

Fujita, M. S., y M. D. Tuttle, «Flying Foxes (Chiroptera: Pteropodidae): Threatened Animals of Key Ecological and Economic Importance», *Conservation Biology* 5, n.º 4 (1991), pp. 455-463.

Gao, F. *et al.*, «Origin of HIV-1 in the Chimpanzee *Pan troglodytes troglodytes*», *Nature* 397, n.º 6718 (1999), pp. 436-441.

Guo, Y. R., *et al.*, «The Origin, Transmission and Clinical Therapies on Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Outbreak–An Update on the Status», *Military Medical Research* 7, n.º 1 (2020), pp. 1-10.

Haas, A. F., *et al.*, «Global Microbialization of Coral Reefs», *Nature Microbiology* 1, n.º 6 (2016), pp. 1-7.

Johnson, C. K., *et al.*, «Global Shifts in Mammalian Population Trends Reveal Key Predictors of Virus Spillover Risk», *Proceedings of the*

Royal Society B: Biological Sciences 287 (2020), 20192736.

LAU, S. K. *et al.*, «Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus-Like Virus in Chinese Horseshoe Bats», *Proceedings of the National Academy of Sciences* 102, n.º 39 (2005), pp. 14040-14045.

LEVI, T., *et al.*, «Deer, Predators, and the Emergence of Lyme Disease», *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109, n.º 27 (2012), pp. 10942-10947.

LU, R., *et al.*, «Genomic Characterisation and Epidemiology of 2019 Novel Coronavirus: Implications for Virus Origins and Receptor Binding», *The Lancet* 395, n.º 10224 (2020), pp. 565-574.

MENA, I., *et al.*, «Origins of the 2009 H1N1 Influenza Pandemic in Swine in Mexico», *eLife* 5 (2016), p.e16777.

MIETZSCH, M., y M. AGBANDJE—MCKENNA, «The Good That Viruses Do», *Annual Review of Virology* 4 (2017), pp. iii-v. Disponible en: <https://doi.org/10.1146/ annurev-vi-04-071217-100011>.

NELLEMANN, C. (redactor jefe); Henriksen, R., *et al.* (eds.), *The Rise of Environmental Crime—A Growing Threat to Natural Resources, Peace, Development and Security*, Informe del equipo de respuesta rápida del UNEP-INTERPOL, programa medioambiental de las Naciones Unidas y el RHIPTO de respuesta rápida, el Centro Noruego de Análisis Global, 2016.

PATIL, R. R.; C. S. KUMAR, y M. BAGVANDAS, «Biodiversity Loss: Public Health Risk of Disease Spread and Epidemics», *Annals of Tropical Medicine and Public Health* 10, n.º 6 (2017), p. 1432.

QUAMMEN, David, *Spillover: Animal Infections and the Next Human Pandemic*, W. W. Norton & Company, 2012.

SANDIN, S. A., *et al.*, «Baselines and Degradation of Coral Reefs in the Northern Line Islands», *PloS ONE* 3, n.º 2 (2008).

VEZZULLI, L.; R. R. COLWELL, y C. PRUZZO, «Ocean Warming and Spread of Pathogenic *Vibrios* in the Aquatic Environment», *Microbial Ecology* 65, n.º 4 (2013), pp. 817-825.

WALDRON, A., *et al.*, *Report on the Costs, Benefits, and Economic Implications of Protecting 30% of the Planet*, Sociedad de National Geographic y Campaña Wyss por la Naturaleza, 2020.

WOLFE, N. D.; C. P. Dunavan, y J. Diamond, «Origins of Major Human Infectious Diseases», *Nature* 447, n.º 7142 (2007), pp. 279-283.

WOOD, C. L. *et al.*, «Does Biodiversity Protect Humans Against Infectious Disease?», *Ecology* 95, n.º 4 (2014), pp. 817-832.

ZHANG, Z.; Q. WU, y T. ZHANG, «Pangolin Homology Associated with 2019-nCoV», *bioRxiv* (2020). Disponible en: <https://doi.org/10.1101/2020.02.19.950253>.

La tierra es la base de la vida en el planeta fuera de los océanos. Una tierra sana alberga un entramado laberíntico de hongos que proporcionan nutri-ción a las plantas a cambio de sus azúcares. La tierra

no cultivada del Medio Oeste estadounidense es imprescindible para la vegetación de las praderas y secuestra una enorme cantidad de carbono. Las raíces de los falsos giraso-les de la foto miden casi dos metros de largo. (© Jim Richardson/National Geographic Image Collection, NGIC.)

Los arrecifes de coral, como este de Palau, son las selvas tropicales del mar: contienen más especies que ningún otro ecosistema marino. La explotación y el calentamiento global están convirtiendo estos jardines acuáticos en cementerios. (© Enric Sala.)

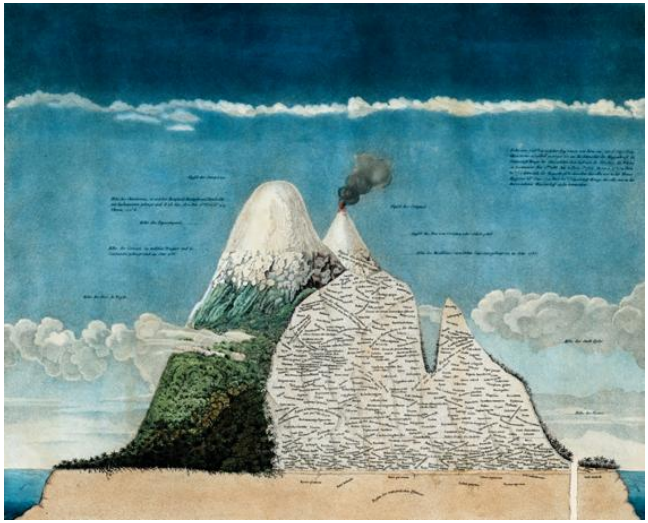
En la selva amazónica no hay solo cientos de miles de plantas y animales; también genera su propio clima y lluvia. La pérdida de más del 20 por ciento de la selva la convertirá en una sabana. (© Michael Nichols/ NGIC.)

El bosque de Białowieża, en la frontera entre Polonia y Bielorrusia, es uno de los últimos bosques primigenios que quedan en Europa, y uno de los pocos ecosistemas del continente donde quedan lobos y bisontes europeos. (© Aleksander Bolbot/Shutterstock.)

Los entornos urbanos son un ejemplo límite de ecosistema artificial. Las ciudades como Nueva York, en la foto, no producen suficiente alimento y energía para autoabastecerse, y por tanto dependen de la explotación de ecosistemas del resto del mundo. (© Fraser Hall/robertharding/NGIC.)

Todos los años, miles de millones de sardinas se reúnen junto a las costas de Sudáfrica debido a la altísima productividad de esta agua. Tras las sardinas vienen los depredadores, como tiburones, leones marinos, delfines y ballenas. La abundancia de depredadores denota un ecosistema oceánico sano. (© Thomas P. Peschak/NGIC.)

A mediados de los años noventa, la sobrepesca en el cabo Pulmo, en Baja California, México, había creado un erial submarino (*fotografía superior*). Los pescadores de la zona pidieron al Gobierno mexicano que creara un par-que nacional marino, una reserva de 70 kilómetros cuadrados donde estaría prohibida la pesca. Diez años más tarde, el cabo Pulmo había recuperado un estado prístino; incluso habían regresado los depredadores grandes como los tiburones, los meros o las barracudas (*fotografía inferior*). Aquellos pescadores con visión de futuro ganan ahora mucho más que antes gracias al turismo de submarinistas en la reserva y la excelente pesca en los alrededores. (© Octavio Aburto.)



En 1807 el naturalista prusiano Alexander von Humboldt publicó

Naturgemälde, también conocido como «Mapa del Chimborazo», la primera descripción de la distribución de plantas a diferentes alturas. Las observaciones de Humboldt sentaron las bases de la ciencia sobre los ecosistemas. (© Science Source.)

Las plantaciones de palmas, como esta de Borneo, están entre los peores ejemplos de pérdida de biodiversidad. El ser humano destruye las selvas tropicales para sustituirlas por un monocultivo que no proporciona al ecosistema ninguno de los servicios de la selva original. (© Mattias Klum/ NGIC.)

La zona intermareal, la frontera entre el mar y la tierra firme, es donde mi amigo Bob Paine y yo descubrimos que los depredadores clave, como la estrella de mar ocre (Pisaster ochraceus, visible en la foto), mantienen la cohesión del ecosistema. (© Konrad Wothe/Minden Pictures.)

Las praderas naturales con herbívoros nativos como el bisonte americano en el parque nacional de Yellowstone (*fotografía superior*) acogen a muchas especies de plantas y animales. Las tierras sanas de una pradera acumulan grandes cantidades de carbono y retienen el agua procedente de la lluvia, con lo que evitan las inundaciones. Pero el ganado que ha sustituido en muchos lugares a los herbívoros nativos pasta en exceso, con lo que la tierra se empobrece y se vuelve yerma. El ganado ocupa el

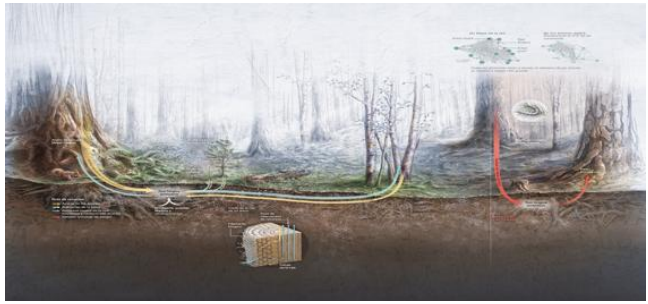
77 por ciento de la tierra agrícola del mundo, pero produce menos del 20 por ciento de las calorías. (© Norbert Rosing/NGIC, *arriba*; Cagan H. Sekercioglu/NGIC, *abajo*.)

La biosfera, la capa viva de la Tierra, es un único ecosistema en el que todas las formas de vida están interconectadas de una manera u otra, desde las bacterias intestinales hasta las selvas tropicales que producen lluvia. Todas las fronteras artificiales desaparecen al ver la Tierra desde el espacio. (© NASA Goddard Space Flight Center. Imagen de Reto Stôkli retocada por Robert Simmon. Datos y soporte técnico: MODIS Land Group, MODIS Science Data Support Team y MODIS Atmosphere Group. Datos adicionales: MODIS Ocean Group, USGS EROS Data Center, USGS Terrestrial Remote Sensing Flagstaff Field Center y Defense Meteorological Satellite Program.)

Los depredadores grandes pueden contribuir a mitigar el impacto del calentamiento global. El tiburón tigre de la bahía de los Tiburones, en Australia, crea un «paisaje del miedo»: zonas enteras en las que no se atreven a entrar los dugones. Así no devoran las plantas, con lo que las algas pueden crecer y acumular carbono. (© Brian Skerry/NGIC.)

Las islas Medas junto a L'Estartit, en Cataluña, acogen una reserva marina donde está prohibida la pesca, con una de las concentraciones de vida marina más importantes del Mediterráneo. Aquí vienen submarinistas de toda Europa que contribuyen a la economía local. (© Xose Manuel Casal Luis/ Alamy Stock Photo.)

Los manglares son un milagro de la naturaleza. Estos árboles crecen en el agua del mar y capturan diez veces más carbono que las selvas tropicales, además de dar protección a las crías de muchos invertebrados y peces que luego se comercializan, y de defender la orilla de las tormentas. (© Cyril Ruoso/Minden Pictures.)



En los bosques hay una red invisible. Los árboles intercambian azúcares y nutrientes, y se envían señales de peligro unos a otros gracias a un complejo entramado fúngico subterráneo. (Ilustración: © Beau Daniels. Fuentes: Suzanne Simard y Camille efrenne, Universidad de Columbia Británica; Kevin Beiler, Eberswalde University for Sustainable Development.)

Las tierras silvestres de Knepp, en Sussex Occidental, Inglaterra, fueron hasta el año 2000 una granja de agricultura intensiva. Sus dueños las han resilvestrado, y ahora son un ecosistema que alberga muchas especies de aves y herbívoros grandes como los ciervos de la foto. (© C. R. Burrell.)

La trucha degollada del río Yellowstone, en la foto, era fuente de alimentación para los osos, las nutrias y muchas aves grandes, pero su supervivencia se vio amenazada por la introducción de una especie no nativa destinada a la pesca deportiva. (© Tom Murphy/NGIC.)

En 2017, las tribus maorís locales consiguieron en los tribunales que un acta del Parlamento otorgara estatus de persona jurídica al río Whanganui. En la actualidad, el Whanganui está reconocido como ser vivo indivisible. (© Colin Monteath/age footstock.)

En la Tierra hay un millar de gorilas de montaña, y la población se está

recuperando gracias a las prácticas de conservación en Ruanda, la República Democrática del Congo y Uganda. Los fondos proceden en parte del ecoturismo, que también crea empleo en la zona. (© Enric Sala.)

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, sea este electrónico, mecánico, por fotocopia, por grabación u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito del editor. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (Art. 270 y siguientes del Código Penal)

Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita reproducir algún fragmento de esta obra.
Puede contactar con CEDRO a través de la web www.conlicencia.com o por teléfono en el 91 702 19 70 / 93 272 04 47

Título original: *The Nature of Nature: Why We Need the Wild*
© 2020, Enric Sala
© 2020, Edward O. Wilson, por la introducción
© 2022, Cristina Macía Orío, por la traducción

© del diseño de la cubierta, Planeta Arte & Diseño, a partir del diseño original de Melissa Farris © de las imágenes de la cubierta, Spring Stories, Life in the Tropics, Tropical Desire e Inhabitants of the Sea, © Piñata/www.youworkforthem.com
© Editorial Planeta, S. A., 2022
Av. Diagonal, 662-664, 08034 Barcelona (España) www.editorial.planeta.es
www.planetadelibros.com

Primera edición en libro electrónico (epub): abril de 2022

ISBN: 978-84-3443539-1 (epub)

Conversión a libro electrónico: Realización Planeta

¡Encuentra aquí tu próxima lectura!

¡Síguenos en redes sociales!